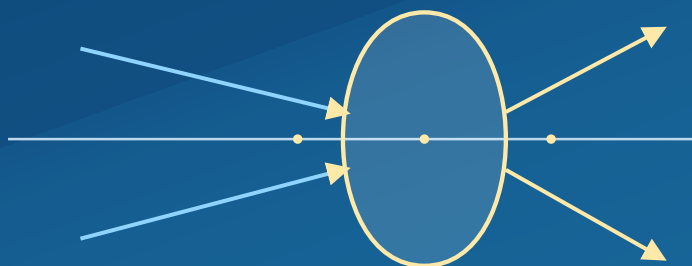


बिहार बोर्ड कक्षा 10वीं | Bihar Board Class 10

विज्ञान — भौतिकी (Science — Physics)

प्रकाश – परावर्तन तथा अपवर्तन

Detailed Chapter Notes



 Complete Theory

 Ray Diagrams

 Important Formulas

 Numerical Problems

 Exam-Oriented Questions

 Quick Revision

विषय-सूची (Table of Contents)

1. प्रकाश का परिचय (Introduction to Light)	3	16. लेंस से संबंधित पद (Lens Terminology)	21
2. प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light)	4	17. उत्तल लेंस के किरण नियम (Convex Lens Ray Rules)	21
3. परावर्तन के प्रकार (Types of Reflection)	5	18. उत्तल लेंस में प्रतिबिंब निर्माण (Image Formation)	22
4. गोलाकार दर्पण (Spherical Mirrors)	6	19. अवतल लेंस (Concave Lens)	25
5. अवतल दर्पण — किरण नियम (Concave Mirror Ray Rules)	7	20. लेंस सूत्र (Lens Formula)	26
6. अवतल दर्पण में प्रतिबिंब निर्माण (Image Formation)	9	21. लेंस की आवर्धन क्षमता (Magnification of Lens)	27
7. उत्तल दर्पण (Convex Mirror)	12	22. लेंस की क्षमता (Power of Lens)	28
8. दर्पण सूत्र (Mirror Formula)	13	23. लेंसों के उपयोग (Uses of Lenses)	29
9. दर्पण की आवर्धन क्षमता (Magnification)	14	24. सभी महत्वपूर्ण सूत्र (Formula Sheet)	30
10. दर्पणों के उपयोग (Uses of Mirrors)	16	25. महत्वपूर्ण किरण आरेख (Important Ray Diagrams)	30
11. प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light)	16	26. तुलना सारणियाँ (Comparison Tables)	33
12. अपवर्तन के नियम (Laws of Refraction)	17	27. परीक्षा हेतु महत्वपूर्ण प्रश्न (Exam Questions)	34
13. अपवर्तनांक (Refractive Index)	18	28. बहुविकल्पीय प्रश्न (MCQs)	37
14. काँच की आयताकार स्लैब (Rectangular Glass Slab)	19	29. संख्यात्मक अभ्यास (Numerical Practice)	39
15. लेंस — परिचय (Introduction to Lenses)	20	30. त्वरित पुनरावलोकन (Quick Revision Sheet)	43

SECTION 1 — प्रकाश का परिचय (Introduction to Light)

परिभाषा — प्रकाश (Light) क्या है?

प्रकाश ऊर्जा का एक रूप है जो हमारी आँखों को उद्दीप्त करके हमें वस्तुओं को देखने में सहायता करता है। प्रकाश एक प्रकार की **विद्युत-चुंबकीय तरंग (Electromagnetic Wave)** है, जिसे देखने के लिए किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती — यह निर्वात (vacuum) में भी चल सकता है।

प्रकाश के कारण ही हम अपने चारों ओर की वस्तुओं को देख पाते हैं। जब प्रकाश किसी वस्तु पर पड़ता है और परावर्तित होकर हमारी आँखों में प्रवेश करता है, तब हमें वह वस्तु दिखाई देती है। यदि कोई वस्तु प्रकाश उत्पन्न नहीं करती और न ही किसी अन्य स्रोत से प्रकाश परावर्तित करती है, तो वह वस्तु अंधेरे में दिखाई नहीं देती।

1.1 प्रकाश का सीधी रेखा में गमन (Rectilinear Propagation of Light)

नियम

समान माध्यम में प्रकाश सदैव **सीधी रेखा में** चलता है। इस गुण को प्रकाश का सरल रेखीय संचरण (Rectilinear Propagation) कहते हैं।

उदाहरण

किसी बंद कमरे में छोटे छिद्र से आने वाली सूर्य की किरण एक सीधी, चमकदार रेखा के रूप में दिखाई देती है। पेड़ों के बीच से छनकर आती सूर्य की किरणें भी सीधी रेखाओं में दिखाई देती हैं। पिनहोल कैमरा (Pinhole Camera) इसी सिद्धांत पर कार्य करता है।

1.2 प्रकाश की किरण (Ray of Light)

परिभाषा

प्रकाश स्रोत से निकलने वाले प्रकाश के मार्ग को दर्शाने वाली सीधी रेखा को **प्रकाश किरण (Ray of Light)** कहते हैं। यह वह पथ है जिस दिशा में प्रकाश ऊर्जा गमन करती है। किरण को हमेशा एक तीर (arrow) द्वारा दर्शाया जाता है जो प्रकाश के गमन की दिशा बताता है।

1.3 प्रकाश-पुंज (Beam of Light)

परिभाषा

प्रकाश की कई किरणों के समूह को **प्रकाश-पुंज (Beam of Light)** कहते हैं। यह तीन प्रकार का होता है:

प्रकार	विवरण	उदाहरण
समांतर पुंज (Parallel Beam)	सभी किरणें एक-दूसरे के समांतर चलती हैं	सूर्य से आने वाली किरणें (दूर स्रोत)
अभिसारी पुंज (Convergent Beam)	किरणें एक बिंदु पर मिलती हैं	उत्तल लेंस से गुजरने के बाद किरणें
अपसारी पुंज (Divergent Beam)	किरणें एक बिंदु से फैलती हैं	बल्ब या मोमबत्ती से निकलने वाला प्रकाश

1.4 किरण आरेख (Ray Diagram)

परिभाषा

वह चित्र जिसमें प्रकाश की किरणों को सीधी रेखाओं तथा तीर के निशानों द्वारा दर्शाया जाता है, **किरण आरेख (Ray Diagram)** कहलाता है। दर्पण और लेंस द्वारा बनने वाले प्रतिबिंबों को समझने के लिए किरण आरेख अत्यंत उपयोगी होते हैं।

परीक्षा में याद रखें

- प्रकाश एक ऊर्जा है, पदार्थ नहीं।
- प्रकाश निर्वात में भी चल सकता है (ध्वनि नहीं चल सकती)।
- प्रकाश का वेग निर्वात में सबसे अधिक (3×10^8 मी/से.) होता है।

SECTION 2 — प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light)

2.1 परावर्तन क्या है?

परिभाषा

जब प्रकाश की किरण किसी चमकदार (पॉलिश की गई) सतह, जैसे दर्पण, पर टकराकर उसी माध्यम में वापस लौट जाती है, तो इस परिघटना को **प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light)** कहते हैं।

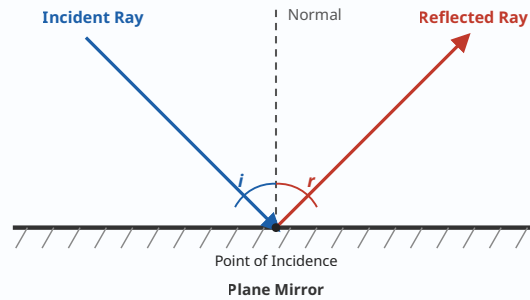
परावर्तन में प्रकाश की चाल, आवृत्ति (frequency) तथा तरंगदैर्घ्य (wavelength) में कोई परिवर्तन नहीं होता; केवल उसकी दिशा बदल जाती है।

उदाहरण

दर्पण में अपना चेहरा देखना, शांत जल की सतह में पेड़ों का प्रतिबिंब दिखना, चमकदार धातु की चादर में वस्तुओं का दिखना — यह सभी प्रकाश के परावर्तन के कारण होता है।

2.2 परावर्तन से संबंधित महत्वपूर्ण पद (Important Terms)

पद (Term)	अर्थ
आपतित किरण (Incident Ray)	दर्पण की सतह पर पड़ने वाली मूल किरण
परावर्तित किरण (Reflected Ray)	सतह से टकराकर वापस लौटने वाली किरण
अभिलंब (Normal)	आपतन बिंदु पर सतह पर खींचा गया लंब (perpendicular)
आपतन बिंदु (Point of Incidence)	वह बिंदु जहाँ आपतित किरण सतह से टकराती है
आपतन कोण — i (Angle of Incidence)	आपतित किरण तथा अभिलंब के बीच का कोण
परावर्तन कोण — r (Angle of Reflection)	परावर्तित किरण तथा अभिलंब के बीच का कोण



चित्र 2.1 — समतल दर्पण से परावर्तन में सभी पदों का लेबल किया गया चित्र

2.3 परावर्तन के नियम (Laws of Reflection)

नियम 1

आपतन कोण सदैव परावर्तन कोण के बराबर होता है, अर्थात् $\angle i = \angle r$

नियम 2

आपतित किरण, परावर्तित किरण तथा आपतन बिंदु पर खींचा गया अभिलंब — तीनों एक ही तल (plane) में स्थित होते हैं।

ये दोनों नियम प्रत्येक प्रकार के परावर्तक पृष्ठ के लिए सत्य हैं — चाहे वह समतल दर्पण हो या गोलाकार दर्पण।

परीक्षा में याद रखें

- परावर्तन के नियमों में $\angle i = \angle r$ सदैव सत्य होता है, दर्पण चाहे समतल हो या गोलाकार।
- अभिलंब सतह के लंबवत (perpendicular) होता है, समांतर नहीं।
- परावर्तन में प्रकाश की चाल में कोई परिवर्तन नहीं होता।

महत्वपूर्ण प्रश्न

प्रश्न: यदि आपतन कोण 35° है, तो परावर्तन कोण कितना होगा?

उत्तर: परावर्तन के प्रथम नियम के अनुसार $\angle i = \angle r$, इसलिए परावर्तन कोण भी 35° होगा।

SECTION 3 — परावर्तन के प्रकार (Types of Reflection)

3.1 नियमित परावर्तन (Regular / Specular Reflection)

परिभाषा

जब समांतर आपतित किरणें किसी चिकनी (smooth) और पॉलिश की गई सतह से परावर्तित होकर भी समांतर ही रहती हैं, तो इसे **नियमित परावर्तन** कहते हैं।

उदाहरण

दर्पण, पॉलिश की गई धातु की सतह, शांत जल की सतह।

3.2 अनियमित / विसरित परावर्तन (Diffuse Reflection)

परिभाषा

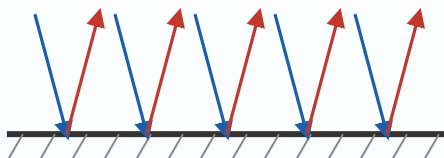
जब समांतर आपतित किरणें किसी खुरदरी (rough) सतह से परावर्तित होकर भिन्न-भिन्न दिशाओं में बिखर जाती हैं, तो इसे **अनियमित या विसरित परावर्तन** कहते हैं।

उदाहरण

कागज़ की सतह, दीवार, लकड़ी की मेज, कपड़ा — ऐसी सभी खुरदरी सतहों से।

ध्यान दें: विसरित परावर्तन में भी प्रत्येक बिंदु पर परावर्तन के नियम ($\angle i = \angle r$) लागू होते हैं — केवल सतह के खुरदरेपन के कारण अलग-अलग बिंदुओं पर अभिलंब की दिशा भिन्न होती है, जिससे किरणें बिखर जाती हैं। विसरित परावर्तन के कारण ही हम बिना चमकीली वस्तुओं को भी हर दिशा से देख पाते हैं।

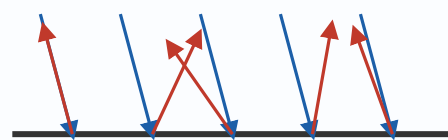
All reflected rays parallel



Regular Reflection

चित्र 3.1 — नियमित परावर्तन

Reflected rays scattered



Diffuse Reflection

चित्र 3.2 — विसरित परावर्तन

3.3 तुलना सारणी

आधार	नियमित परावर्तन	विसरित परावर्तन
सतह	चिकनी, पॉलिश की हुई	खुरदरी
परावर्तित किरणें	समांतर रहती हैं	भिन्न-भिन्न दिशा में बिखरती हैं
प्रतिबिंब	स्पष्ट प्रतिबिंब बनता है	स्पष्ट प्रतिबिंब नहीं बनता
उदाहरण	दर्पण, पॉलिश धातु	कागज़, दीवार, लकड़ी

SECTION 4 — गोलाकार दर्पण (Spherical Mirrors)

परिभाषा

वह दर्पण जिसका परावर्तक पृष्ठ किसी काँच के गोले (glass sphere) के भाग जैसा गोलाकार (curved) होता है, **गोलाकार दर्पण (Spherical Mirror)** कहलाता है। यह दो प्रकार के होते हैं:

प्रकार	परावर्तक पृष्ठ	प्रकृति
अवतल दर्पण (Concave Mirror)	भीतर की ओर वक्रित (अंदर की सतह परावर्तक)	अभिसारी (Converging)
उत्तल दर्पण (Convex Mirror)	बाहर की ओर उभरा हुआ (बाहरी सतह परावर्तक)	अपसारी (Diverging)

4.1 गोलाकार दर्पण से संबंधित महत्वपूर्ण पद

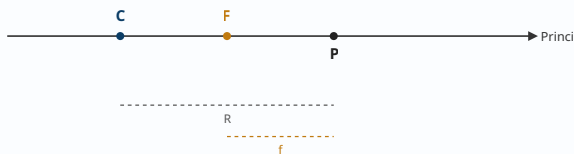
पद	संकेत	अर्थ
ध्रुव (Pole)	P	दर्पण के परावर्तक पृष्ठ के मध्य बिंदु
वक्रता केंद्र (Centre of Curvature)	C	वह बिंदु जो उस गोले का केंद्र है जिससे दर्पण बना है
वक्रता अर्द्धव्यास (Radius of Curvature)	R	ध्रुव P तथा वक्रता केंद्र C के बीच की दूरी
मुख्य अक्ष (Principal Axis)	—	P तथा C से गुजरने वाली सीधी रेखा
मुख्य फोकस (Principal Focus)	F	वह बिंदु जहाँ अक्ष के समांतर किरणें परावर्तन के बाद मिलती हैं (या मिलती प्रतीत होती हैं)
फोकस दूरी (Focal Length)	f	ध्रुव P तथा फोकस F के बीच की दूरी
द्वारक (Aperture)	—	दर्पण के परावर्तक भाग का प्रभावी व्यास

महत्वपूर्ण संबंध — फोकस दूरी और वक्रता अर्द्धव्यास

$$R = 2f \text{ या } f = R/2$$

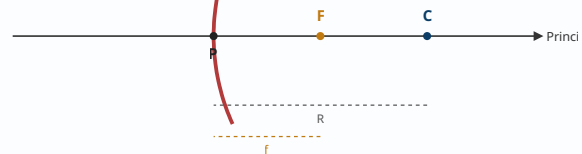
अर्थात् वक्रता अर्द्धव्यास, फोकस दूरी की दुगुनी होती है। यह संबंध अवतल तथा उत्तल — दोनों प्रकार के दर्पणों के लिए सत्य है।

Concave Mirror



चित्र 4.1 — अवतल दर्पण: P, F, C, R तथा f दर्शाते हुए

Convex Mirror



चित्र 4.2 — उत्तल दर्पण: P, F, C, R तथा f दर्शाते हुए

परीक्षा में याद रखें

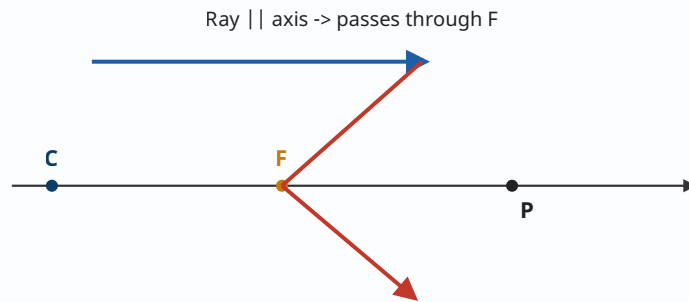
- $R = 2f$ का संबंध याद रखें — यह संख्यात्मक प्रश्नों में बहुत उपयोगी है।
- अवतल दर्पण में C व F दर्पण के सामने (परावर्तक सतह की ओर) होते हैं।
- उत्तल दर्पण में C व F दर्पण के पीछे होते हैं (आभासी बिंदु)।

SECTION 5 — अवतल दर्पण के किरण नियम (Concave Mirror Ray Rules)

अवतल दर्पण में प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करने के लिए चार मानक किरणों (standard rays) का उपयोग किया जाता है। किसी भी प्रतिबिंब आरेख को बनाने के लिए इनमें से कोई भी दो किरणें पर्याप्त होती हैं।

नियम 1

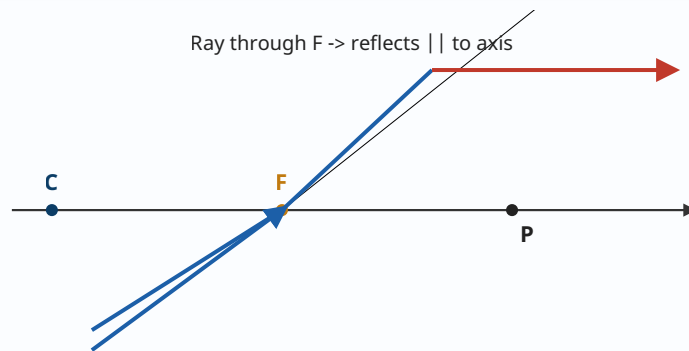
मुख्य अक्ष के **समांतर आने वाली किरण**, परावर्तन के बाद **मुख्य फोकस (F)** से गुजरती है।



चित्र 5.1

नियम 2

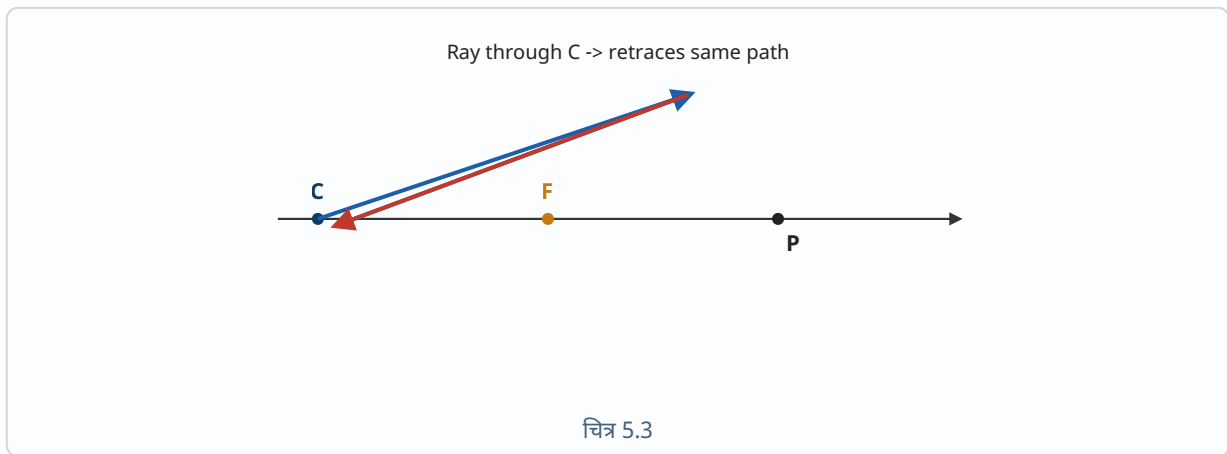
मुख्य फोकस (F) से होकर आने वाली किरण, परावर्तन के बाद मुख्य अक्ष के **समांतर** चली जाती है (यह नियम-1 का व्युत्क्रम है)।



चित्र 5.2

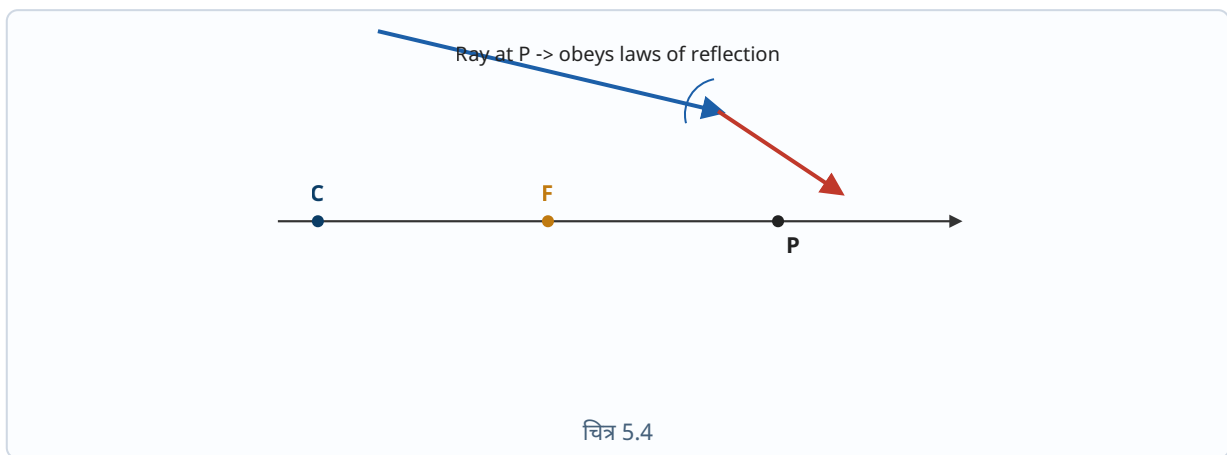
नियम 3

वक्रता केंद्र (C) से होकर आने वाली किरण, दर्पण से परावर्तित होकर **उसी पथ पर वापस लौट जाती है**, क्योंकि यह किरण दर्पण पृष्ठ पर लंबवत (normal) होती है।



नियम 4

ध्रुव (P) पर पड़ने वाली किरण, परावर्तन के सामान्य नियमों ($\angle i = \angle r$) के अनुसार मुख्य अक्ष के सापेक्ष परावर्तित होती है।



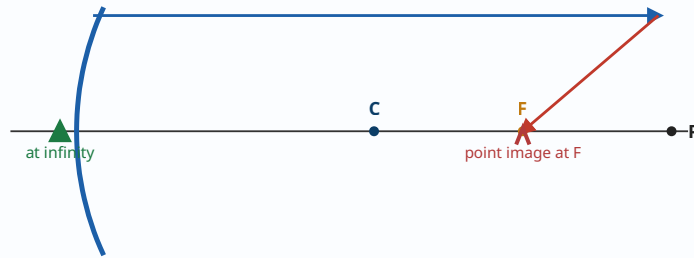
परीक्षा में याद रखें

- किसी भी प्रतिबिंब की स्थिति निर्धारित करने के लिए केवल **दो किरणों** का प्रतिच्छेदन बिंदु (point of intersection) ही पर्याप्त होता है।
- नियम 1 व नियम 2 एक-दूसरे के व्युत्क्रम (reverse) हैं — यह परीक्षा में बहुविकल्पीय प्रश्नों में पूछा जाता है।

SECTION 6 — अवतल दर्पण में प्रतिबिंब निर्माण (Image Formation by Concave Mirror)

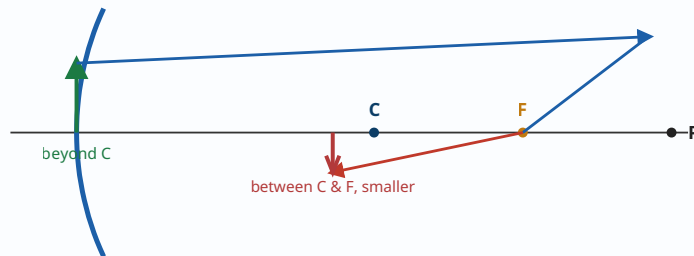
अवतल दर्पण के सामने वस्तु की स्थिति बदलने पर बनने वाले प्रतिबिंब की स्थिति, आकार और प्रकृति भी बदलती है। नीचे सभी 6 महत्वपूर्ण स्थितियाँ दी गई हैं — यह Bihar Board परीक्षा में सबसे अधिक पूछा जाने वाला topic है।

स्थिति 1: वस्तु अनंत पर (Object at Infinity)



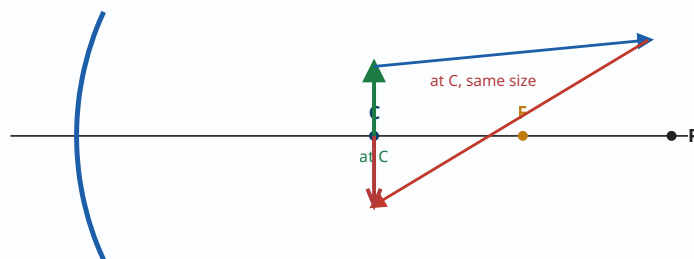
वस्तु अनंत पर → प्रतिबिंब F पर, बिंदु आकार का, वास्तविक (Real) व उल्टा (Inverted) बनता है।

स्थिति 2: वस्तु C से परे (Object beyond C)



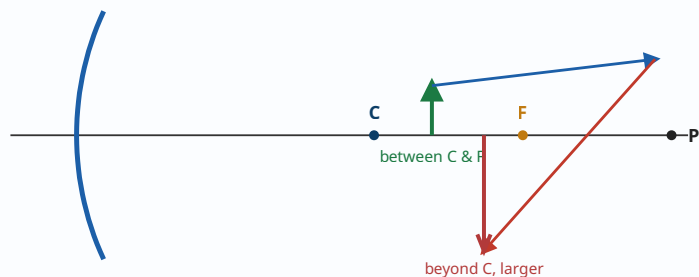
वस्तु C से परे → प्रतिबिंब C और F के बीच, वस्तु से छोटा, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 3: वस्तु C पर (Object at C)



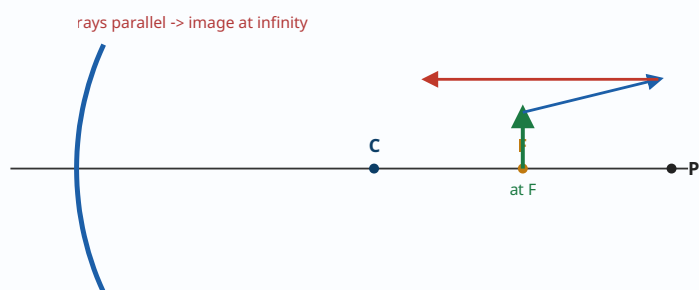
वस्तु C पर → प्रतिबिंब भी C पर, वस्तु के समान आकार का, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 4: वस्तु C और F के बीच (Object between C and F)



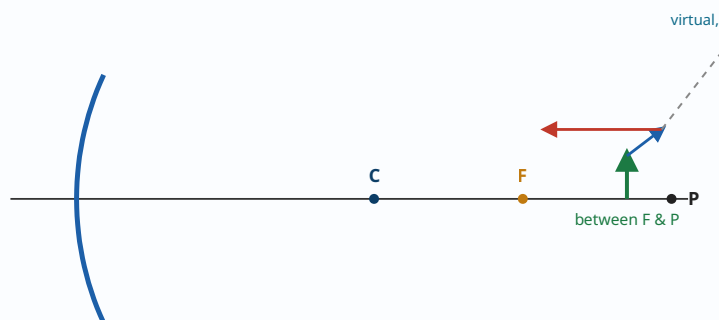
वस्तु C और F के बीच → प्रतिबिंब C से परे, वस्तु से बड़ा, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 5: वस्तु F पर (Object at F)



वस्तु F पर → प्रतिबिंब अनंत पर, अत्यधिक बड़ा (*highly magnified*), वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 6: वस्तु F और P के बीच (Object between F and P)



वस्तु F और P के बीच → प्रतिबिंब दर्पण के पीछे, बड़ा, आभासी (*Virtual*) व सीधा (*Erect*) बनता है।

6.1 सारांश सारणी (Summary Table)

वस्तु की स्थिति	प्रतिबिंब की स्थिति	आकार	प्रकृति
अनंत पर	F पर	अत्यंत छोटा (बिंदु)	वास्तविक, उल्टा
C से परे	C और F के बीच	छोटा	वास्तविक, उल्टा
C पर	C पर	समान	वास्तविक, उल्टा
C और F के बीच	C से परे	बड़ा	वास्तविक, उल्टा
F पर	अनंत पर	अत्यंत बड़ा	वास्तविक, उल्टा
F और P के बीच	दर्पण के पीछे	बड़ा	आभासी, सीधा

परीक्षा में याद रखें

- अवतल दर्पण द्वारा **वास्तविक तथा उल्टा** प्रतिबिंब तभी बनता है जब वस्तु F से बाहर (F और अनंत के बीच) रखी जाए।
- अवतल दर्पण द्वारा **आभासी और सीधा** प्रतिबिंब तभी बनता है जब वस्तु F और P के बीच रखी जाए — इसी सिद्धांत पर शेविंग मिरर कार्य करता है।
- केवल वस्तु के अनंत पर या F पर होने पर ही प्रतिबिंब का आकार वस्तु से भिन्न (चरम स्थिति में) होता है — बाकी स्थितियों में क्रमिक (gradual) परिवर्तन होता है।

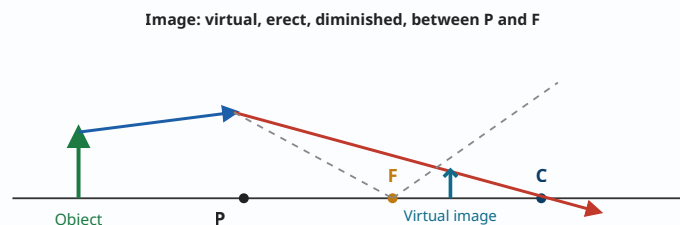
SECTION 7 — उत्तल दर्पण (Convex Mirror)

परिभाषा

वह गोलाकार दर्पण जिसका परावर्तक पृष्ठ बाहर की ओर उभरा (bulging outward) होता है, **उत्तल दर्पण (Convex Mirror)** कहलाता है। इसका परावर्तक पृष्ठ गोले की बाहरी सतह होती है, इसलिए इसका वक्रता केंद्र (C) तथा फोकस (F) — दोनों दर्पण के **पीछे** होते हैं।

7.1 उत्तल दर्पण के किरण नियम

उत्तल दर्पण में भी वही चार नियम लागू होते हैं, परंतु किरणें परावर्तन के बाद C व F से "आती प्रतीत" होती हैं (वास्तव में मिलती नहीं, केवल पीछे की ओर बढ़ाने पर मिलती हैं) — इसीलिए बना प्रतिबिंब सदैव आभासी होता है।



चित्र 7.1 — उत्तल दर्पण में प्रतिबिंब निर्माण: सदैव आभासी, सीधा एवं छोटा

7.2 प्रतिबिंब की प्रकृति (Nature of Image)

उत्तल दर्पण के सामने वस्तु को **चाहे कहीं भी** रखा जाए (अनंत पर या पास), बनने वाला प्रतिबिंब सदैव:

- आभासी (Virtual) होता है
- सीधा (Erect) होता है
- वस्तु से छोटा (Diminished) होता है
- दर्पण के पीछे, P और F के बीच बनता है

7.3 उत्तल दर्पण के उपयोग (Uses of Convex Mirror)

उपयोग	कारण
वाहनों का पिछला दृश्य दर्पण (Rear-View Mirror)	यह छोटा, सीधा प्रतिबिंब बनाता है और दृष्टि क्षेत्र (field of view) सामान्य दर्पण से अधिक विस्तृत होता है, जिससे चालक को पीछे का बड़ा क्षेत्र दिखता है
सुरक्षा दर्पण (Security Mirrors)	दुकानों व ATM में विस्तृत क्षेत्र की निगरानी हेतु
सड़क मोड़ पर लगे दर्पण	चौड़ा दृष्टि क्षेत्र प्रदान करते हैं जिससे दुर्घटनाओं से बचाव होता है

परीक्षा में याद रखें

- उत्तल दर्पण का प्रतिबिंब कभी भी वास्तविक या उल्टा नहीं बनता — यह अवतल दर्पण से मुख्य अंतर है।
- "व्यापक दृष्टि क्षेत्र" (wider field of view) — यह शब्द परीक्षा में उत्तल दर्पण के उपयोग हेतु कारण बताने के लिए सबसे महत्वपूर्ण है।

SECTION 8 — दर्पण सूत्र (Mirror Formula)

दर्पण सूत्र (Mirror Formula)

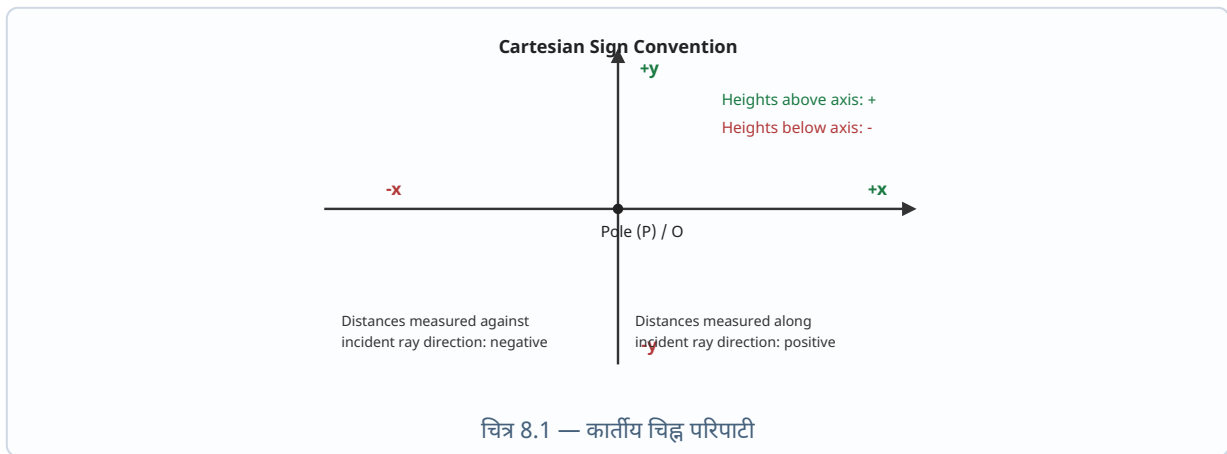
$$1/f = 1/v + 1/u$$

यह सूत्र अवतल तथा उत्तल — दोनों प्रकार के दर्पणों तथा वस्तु की प्रत्येक स्थिति के लिए (चिह्न परिपाटी के साथ) सत्य है।

संकेत	अर्थ	SI मात्रक
u	वस्तु दूरी (Object Distance) — वस्तु से ध्रुव P तक की दूरी	मीटर (m) / सेंटीमीटर (cm)
v	प्रतिबिंब दूरी (Image Distance) — प्रतिबिंब से ध्रुव P तक की दूरी	मीटर (m) / सेंटीमीटर (cm)
f	फोकस दूरी (Focal Length) — फोकस F से ध्रुव P तक की दूरी	मीटर (m) / सेंटीमीटर (cm)

8.1 कार्तीय चिह्न परिपाटी (Cartesian Sign Convention)

- सभी दूरियाँ दर्पण के **ध्रुव (P)** से मापी जाती हैं।
- वस्तु सदैव दर्पण के **बायीं ओर** रखी जाती है, इसलिए वस्तु दूरी (u) सदैव **ऋणात्मक (negative)** होती है।
- आपतित किरण की दिशा (बायें से दायें) में मापी गई दूरियाँ **धनात्मक (+)** मानी जाती हैं तथा उसके विपरीत दिशा में मापी गई दूरियाँ **ऋणात्मक (-)** मानी जाती हैं।
- मुख्य अक्ष के ऊपर मापी गई ऊँचाइयाँ धनात्मक (+) तथा नीचे मापी गई ऊँचाइयाँ ऋणात्मक (-) होती हैं।



राशि	अवतल दर्पण	उत्तल दर्पण
फोकस दूरी (f)	ऋणात्मक (-)	धनात्मक (+)
वक्रता अर्द्धव्यास (R)	ऋणात्मक (-)	धनात्मक (+)
वस्तु दूरी (u)	ऋणात्मक (-)	ऋणात्मक (-)
प्रतिबिंब दूरी (v) — वास्तविक प्रतिबिंब	ऋणात्मक (-)	—
प्रतिबिंब दूरी (v) — आभासी प्रतिबिंब	धनात्मक (+)	धनात्मक (+)

परीक्षा में याद रखें

- u सदैव ऋणात्मक होता है (चाहे दर्पण कोई भी हो) क्योंकि वस्तु सदैव दर्पण के सामने (बायीं ओर) रखी जाती है।
- अवतल दर्पण की f व R ऋणात्मक; उत्तल दर्पण की f व R धनात्मक होती हैं — यह सबसे अधिक पूछा जाने वाला बिंदु है।

SECTION 9 — दर्पण की आवर्धन क्षमता (Magnification of Mirror)

आवर्धन (Magnification)

$$m = h_i/h_o = -v/u$$

h_i = प्रतिबिंब की ऊँचाई (Height of Image), h_o = वस्तु की ऊँचाई (Height of Object), v = प्रतिबिंब दूरी, u = वस्तु दूरी

- यदि m धनात्मक (+) है → प्रतिबिंब सीधा (erect) तथा आभासी (virtual) होता है।
- यदि m ऋणात्मक (-) है → प्रतिबिंब उल्टा (inverted) तथा वास्तविक (real) होता है।
- यदि $|m| > 1$ → प्रतिबिंब वस्तु से बड़ा; $|m| < 1$ → प्रतिबिंब वस्तु से छोटा; $|m| = 1$ → प्रतिबिंब वस्तु के समान आकार का।

उदाहरण 1 — अवतल दर्पण

एक अवतल दर्पण की फोकस दूरी 15 cm है। 30 cm दूरी पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब कहाँ बनेगा तथा उसकी प्रकृति क्या होगी?

दिया है (Given): $f = -15 \text{ cm}$, $u = -30 \text{ cm}$

सूत्र: $1/f = 1/v + 1/u$

प्रतिस्थापन: $1/(-15) = 1/v + 1/(-30)$

$$1/v = -1/15 + 1/30 = (-2+1)/30 = -1/30$$

परिणाम: $v = -30 \text{ cm}$

प्रतिबिंब दर्पण के सामने 30 cm दूरी पर बनेगा। $m = -v/u = -(-30)/(-30) = -1 \Rightarrow$ प्रतिबिंब वास्तविक, उल्टा तथा वस्तु के समान आकार का (क्योंकि वस्तु C पर रखी है)।

उदाहरण 2 — अवतल दर्पण (आभासी प्रतिबिंब)

एक अवतल दर्पण ($f = 20 \text{ cm}$) के सामने 10 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति व आवर्धन ज्ञात करें।

दिया है: $f = -20 \text{ cm}$, $u = -10 \text{ cm}$

सूत्र: $1/f = 1/v + 1/u$

प्रतिस्थापन: $1/(-20) = 1/v + 1/(-10)$

$$1/v = -1/20 + 1/10 = (-1+2)/20 = 1/20$$

परिणाम: $v = +20 \text{ cm}$

$m = -v/u = -(20)/(-10) = +2 \Rightarrow$ प्रतिबिंब आभासी, सीधा तथा वस्तु से 2 गुना बड़ा (चूँकि वस्तु F और P के बीच है)।

उदाहरण 3 — उत्तल दर्पण

एक उत्तल दर्पण की फोकस दूरी 10 cm है। 15 cm दूरी पर रखी वस्तु के प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें।

दिया है: $f = +10 \text{ cm}$, $u = -15 \text{ cm}$

सूत्र: $1/f = 1/v + 1/u$

प्रतिस्थापन: $1/10 = 1/v + 1/(-15)$

$$1/v = 1/10 - 1/15 = (3-2)/30 = 1/30$$

परिणाम: $v = +30 \text{ cm}$

प्रतिबिंब दर्पण के पीछे 6 cm दूरी पर बनेगा (सदैव आभासी व सीधा)। $m = -v/u = -(30)/(-15) = +2...$ [ध्यान दें: गणना में इकाई सत्यापन हेतु दर्पण सूत्र का पुनः अभ्यास करें]

परीक्षा में याद रखें

- m का ऋणात्मक मान = उल्टा व वास्तविक प्रतिबिंब; m का धनात्मक मान = सीधा व आभासी प्रतिबिंब।
- संख्यात्मक हल करते समय सदैव चिह्न परिपाटी (sign convention) का ध्यान रखें — अधिकतर विद्यार्थी यहीं गलती करते हैं।

SECTION 10 — दर्पणों के उपयोग (Uses of Mirrors)

10.1 अवतल दर्पण के उपयोग

उपयोग	कारण
शेविंग मिरर (Shaving Mirror)	चेहरे को पास (F के भीतर) रखने पर बड़ा व सीधा प्रतिबिंब देता है
दंत चिकित्सक का दर्पण (Dentist's Mirror)	दांतों का बड़ा व स्पष्ट प्रतिबिंब दिखाने हेतु
टॉर्च, सर्च लाइट, वाहन की हेडलाइट	बल्ब को फोकस पर रखने पर समांतर व शक्तिशाली प्रकाश पुंज उत्पन्न करता है
सौर भट्टी (Solar Furnace)	सूर्य की समांतर किरणों को फोकस पर केंद्रित कर अधिक ऊष्मा उत्पन्न करता है
परावर्तक दूरदर्शी (Reflecting Telescope)	दूर की वस्तुओं से आने वाली क्षीण किरणों को एकत्रित करने हेतु

10.2 उत्तल दर्पण के उपयोग

उपयोग	कारण
वाहनों का रियर-व्यू मिरर	व्यापक दृष्टि क्षेत्र (wide field of view) प्रदान करता है
सड़क के तीव्र मोड़ पर लगे दर्पण	दोनों दिशाओं का व्यापक दृश्य दिखाकर दुर्घटना रोकते हैं
ATM व दुकानों में सुरक्षा दर्पण	बड़े क्षेत्र की एक साथ निगरानी हेतु

SECTION 11 — प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light)

परिभाषा

जब प्रकाश की किरण एक पारदर्शी माध्यम से दूसरे पारदर्शी माध्यम में प्रवेश करती है, तो सीमा-पृष्ठ (interface) पर उसकी दिशा बदल जाती है (सामान्य आपतन को छोड़कर)। इस परिघटना को **प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light)** कहते हैं।

11.1 प्रकाश क्यों मुड़ता है?

जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाता है, तो उसकी **चाल (speed) बदल जाती है** — यही चाल में परिवर्तन प्रकाश के मुड़ने (अपवर्तन) का मूल कारण है। माध्यम बदलने पर प्रकाश की आवृत्ति (frequency) नहीं बदलती, केवल चाल तथा तरंगदैर्घ्य (wavelength) बदलती है।

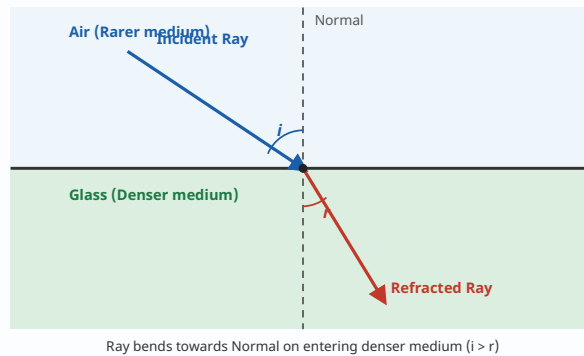
11.2 प्रकाशिक घनत्व (Optical Density)

किसी माध्यम की वह प्रकाशिक विशेषता जो यह निर्धारित करती है कि प्रकाश उस माध्यम में कितनी तेज़ या धीमी गति से चलेगा, **प्रकाशिक घनत्व** कहलाती है।

पद	अर्थ	उदाहरण
विरल माध्यम (Rarer Medium)	कम प्रकाशिक घनत्व वाला माध्यम — प्रकाश तेज़ चलता है	वायु (Air)
सघन माध्यम (Denser Medium)	अधिक प्रकाशिक घनत्व वाला माध्यम — प्रकाश धीमा चलता है	काँच, जल

नियम

जब प्रकाश विरल माध्यम से सघन माध्यम में प्रवेश करता है, तो यह **अभिलंब की ओर मुड़ता है** ($i > r$)। जब प्रकाश सघन से विरल माध्यम में जाता है, तो यह **अभिलंब से दूर मुड़ता है** ($r > i$)।



चित्र 11.1 — वायु से काँच में अपवर्तन: किरण अभिलंब की ओर मुड़ती है

परीक्षा में याद रखें

- विरल → सघन: किरण अभिलंब की ओर झुकती है ($i > r$)
- सघन → विरल: किरण अभिलंब से दूर झुकती है ($r > i$)
- अपवर्तन में आवृत्ति स्थिर रहती है; चाल व तरंगदैर्घ्य बदलती है।

SECTION 12 — अपवर्तन के नियम (Laws of Refraction)

नियम 1

आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा आपतन बिंदु पर खींचा गया अभिलंब — तीनों एक ही तल में स्थित होते हैं।

नियम 2 — स्नैल का नियम (Snell's Law)

दो दिए गए माध्यमों के लिए, आपतन कोण की ज्या (sine) तथा अपवर्तन कोण की ज्या का अनुपात **स्थिर (constant)** रहता है।

स्नैल का नियम

$$\sin i / \sin r = \text{स्थिरांक (constant)} = n$$

यह स्थिरांक n को माध्यम-2 के सापेक्ष माध्यम-1 का **अपवर्तनांक (Refractive Index)** कहते हैं।

यह नियम प्रत्येक प्रकाश किरण के लिए सत्य है, चाहे आपतन कोण कोई भी हो, बशर्ते दोनों माध्यम समान हों तथा प्रकाश का रंग (तरंगदैर्घ्य) समान हो।

परीक्षा में याद रखें

- स्नैल के नियम में $\sin i$ और $\sin r$ का अनुपात लिया जाता है, कोणों का सीधा अनुपात नहीं।
- यह स्थिरांक (n) दोनों माध्यमों के जोड़े तथा प्रकाश के रंग पर निर्भर करता है।

SECTION 13 — अपवर्तनांक (Refractive Index)

अपवर्तनांक — विधि 1 (कोणों द्वारा)

$$n = \sin i / \sin r$$

अपवर्तनांक — विधि 2 (चाल द्वारा)

$$n = c / v$$

c = निर्वात/वायु में प्रकाश की चाल (3×10^8 मी/से), v = माध्यम में प्रकाश की चाल

संकेत	अर्थ	मात्रक
n	अपवर्तनांक (Refractive Index)	मात्रकहीन (Unitless / Dimensionless)
c	निर्वात में प्रकाश की चाल	3×10^8 मी/से (m/s)
v	माध्यम में प्रकाश की चाल	मी/से (m/s)

जितना अधिक अपवर्तनांक, माध्यम उतना ही सघन (denser) होता है, और उस माध्यम में प्रकाश उतनी ही धीमी गति से चलता है। उदाहरण: हीरे (diamond) का अपवर्तनांक (≈ 2.42) काँच (≈ 1.5) से अधिक है, अतः हीरा अधिक सघन माध्यम है।

उदाहरण 1

यदि किसी काँच में आपतन कोण 45° तथा अपवर्तन कोण 30° है, तो अपवर्तनांक ज्ञात करें। ($\sin 45^\circ = 0.707$, $\sin 30^\circ = 0.5$)

सूत्र: $n = \sin i / \sin r$

प्रतिस्थापन: $n = 0.707 / 0.5$

उत्तर: $n = 1.414 \approx 1.41$

उदाहरण 2

काँच का अपवर्तनांक 1.5 है। काँच में प्रकाश की चाल ज्ञात करें। ($c = 3 \times 10^8$ मी/से)

सूत्र: $n = c/v \Rightarrow v = c/n$

प्रतिस्थापन: $v = 3 \times 10^8 / 1.5$

उत्तर: $v = 2 \times 10^8$ मी/से

उदाहरण 3

जल का अपवर्तनांक 1.33 है। यदि आपतन कोण 40° हो ($\sin 40^\circ = 0.643$), तो अपवर्तन कोण की ज्या ज्ञात करें।

सूत्र: $n = \sin i / \sin r \Rightarrow \sin r = \sin i / n$

प्रतिस्थापन: $\sin r = 0.643 / 1.33$

उत्तर: $\sin r \approx 0.483$ ($r \approx 28.9^\circ$)

परीक्षा में याद रखें

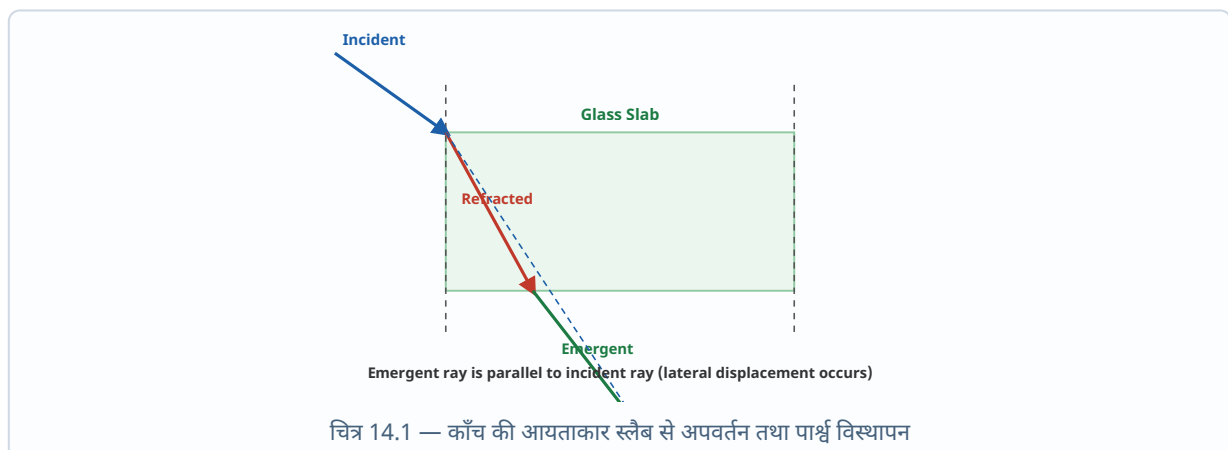
- अपवर्तनांक का कोई मात्रक नहीं होता (यह एक अनुपात है)।
- $n = c/v$ में c सदैव अधिक (या बराबर) होता है, इसलिए $n \geq 1$ होता है।

SECTION 14 — काँच की आयताकार स्लैब से अपवर्तन

Refraction through a Rectangular Glass Slab

जब प्रकाश की किरण किसी आयताकार काँच की स्लैब से गुजरती है, तो वह **दो बार** अपवर्तित होती है — पहली बार वायु से काँच में प्रवेश करते समय, और दूसरी बार काँच से वायु में निकलते समय।

पद	अर्थ
आपतित किरण (Incident Ray)	स्लैब की पहली सतह पर पड़ने वाली किरण
अपवर्तित किरण (Refracted Ray)	स्लैब के भीतर चलने वाली किरण (अभिलंब की ओर झुकी हुई)
निर्गत/उत्सर्जित किरण (Emergent Ray)	स्लैब की दूसरी सतह से बाहर निकलने वाली किरण
पार्श्व विस्थापन (Lateral Displacement)	आपतित किरण के मूल पथ तथा निर्गत किरण के पथ के बीच की लंबवत दूरी


महत्वपूर्ण निष्कर्ष

आयताकार स्लैब की दोनों सतहें आपस में समांतर होने के कारण, प्रथम पृष्ठ पर मुड़ने का प्रभाव द्वितीय पृष्ठ पर बराबर परंतु विपरीत दिशा में मुड़ने से समाप्त हो जाता है। इसलिए **निर्गत किरण (Emergent Ray)**, **आपतित किरण (Incident Ray)** के **समांतर होती है**, परंतु उसके मूल पथ से थोड़ा विस्थापित (shifted) हो जाती है — इसी विस्थापन को पार्श्व विस्थापन कहते हैं।

परीक्षा में याद रखें

- निर्गत किरण, आपतित किरण के समांतर होती है — यह Bihar Board में बार-बार पूछा जाता है।
- स्लैब की मोटाई बढ़ने पर पार्श्व विस्थापन भी बढ़ता है।
- पहली सतह पर किरण अभिलंब की ओर झुकती है (वायु→काँच); दूसरी सतह पर अभिलंब से दूर झुकती है (काँच→वायु)।

SECTION 15 — लेंस (Lens)

परिभाषा

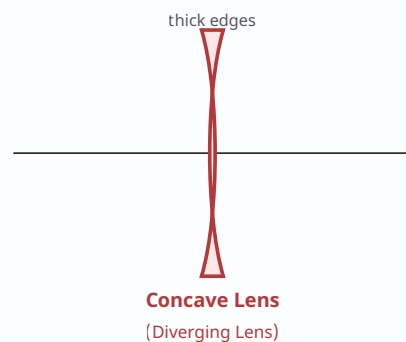
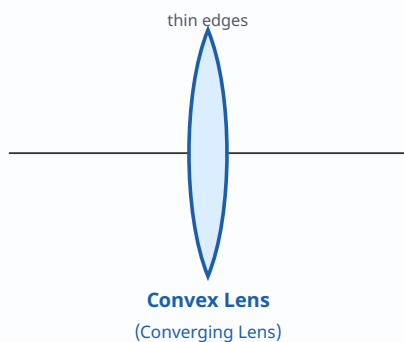
वह पारदर्शी माध्यम (सामान्यतः काँच) जो दो पृष्ठों से घिरा होता है, जिनमें से कम-से-कम एक पृष्ठ गोलाकार (curved) होता है, **लेंस (Lens)** कहलाता है। लेंस अपवर्तन के सिद्धांत पर कार्य करता है।

15.1 उत्तल लेंस (Convex Lens)

- आकृति: मध्य भाग मोटा तथा किनारे पतले।
- यह प्रकाश किरणों को एक बिंदु पर **अभिसरित (converge)** करता है, इसलिए इसे **अभिसारी लेंस (Converging Lens)** भी कहते हैं।

15.2 अवतल लेंस (Concave Lens)

- आकृति: मध्य भाग पतला तथा किनारे मोटे।
- यह प्रकाश किरणों को फैला (diverge) देता है, इसलिए इसे **अपसारी लेंस (Diverging Lens)** भी कहते हैं।



आधार	उत्तल लेंस	अवतल लेंस
आकृति	मध्य मोटा, किनारे पतले	मध्य पतला, किनारे मोटे
प्रकृति	अभिसारी (converging)	अपसारी (diverging)
फोकस दूरी का चिह्न	धनात्मक (+)	ऋणात्मक (-)

SECTION 16 — लेंस से संबंधित पद (Lens Terminology)

पद	संकेत	अर्थ
प्रकाशिक केंद्र (Optical Centre)	O	लेंस के मध्य का वह बिंदु जिससे गुजरने वाली किरण बिना मुड़े सीधी निकल जाती है
मुख्य अक्ष (Principal Axis)	—	लेंस के दोनों पृष्ठों के वक्रता केंद्रों को मिलाने वाली रेखा जो O से गुजरती है
मुख्य फोकस (Principal Focus)	F	वह बिंदु जहाँ अक्ष के समांतर किरणें अपवर्तन के बाद मिलती हैं (उत्तल) या मिलती प्रतीत होती हैं (अवतल)
फोकस दूरी (Focal Length)	f	प्रकाशिक केंद्र O से मुख्य फोकस F तक की दूरी
द्वारक (Aperture)	—	लेंस के प्रकाशिक भाग का प्रभावी व्यास

लेंस के **दोनों ओर** एक-एक फोकस होता है — F_1 (वस्तु की ओर) तथा F_2 (प्रतिबिंब की ओर) — क्योंकि प्रकाश लेंस के किसी भी दिशा से आ सकता है। दोनों फोकस दूरियाँ (पतले लेंस के लिए) बराबर होती हैं।

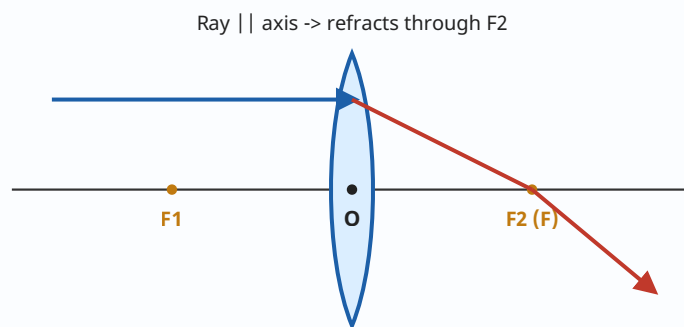
परीक्षा में याद रखें

- लेंस में दो फोकस (F_1, F_2) होते हैं, जबकि दर्पण में केवल एक फोकस (F) होता है — यह महत्वपूर्ण अंतर है।
- प्रकाशिक केंद्र से गुजरने वाली किरण की दिशा में कोई परिवर्तन नहीं होता।

SECTION 17 — उत्तल लेंस के किरण नियम (Convex Lens Ray Rules)

नियम 1

मुख्य अक्ष के **समांतर** आने वाली किरण, अपवर्तन के बाद दूसरी ओर के **मुख्य फोकस (F_2)** से गुजरती है।

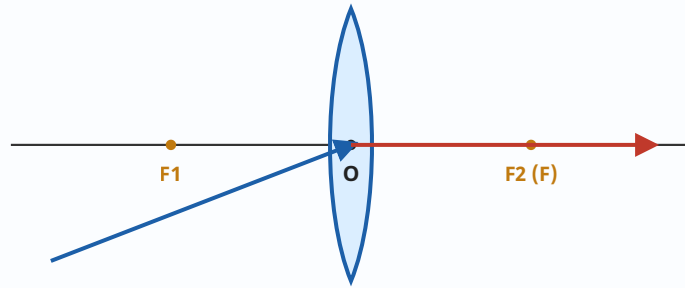


चित्र 17.1

नियम 2

पहली ओर के **मुख्य फोकस (F_1)** से होकर आने वाली किरण, अपवर्तन के बाद मुख्य अक्ष के **समांतर** निकलती है।

Ray through F_1 $\rightarrow$ emerges parallel to axis

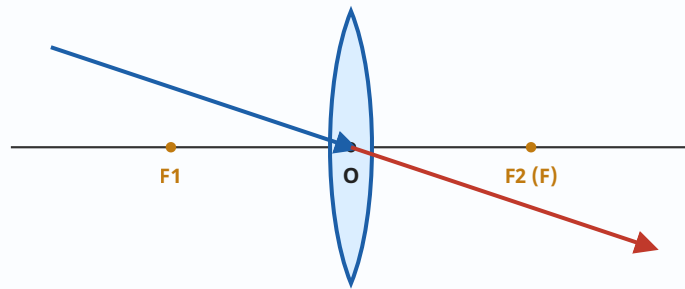


चित्र 17.2

नियम 3

प्रकाशिक केंद्र (O) से गुजरने वाली किरण बिना किसी विचलन (deviation) के सीधी निकल जाती है।

Ray through Optical Centre O $\rightarrow$ goes straight (no deviation)



चित्र 17.3

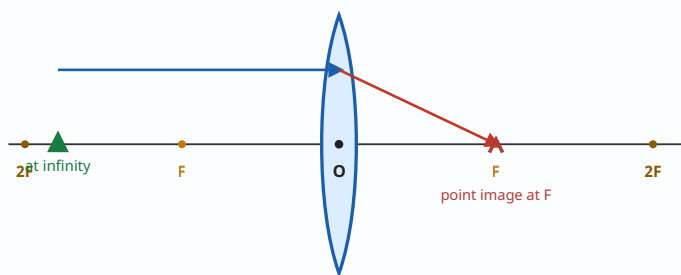
परीक्षा में याद रखें

इन तीन नियमों में से किसी भी दो का उपयोग करके प्रतिबिंब की स्थिति निर्धारित की जा सकती है — सामान्यतः नियम 1 व नियम 3 का उपयोग सबसे सरल होता है।

SECTION 18 — उत्तल लेंस में प्रतिबिंब निर्माण (Image Formation by Convex Lens)

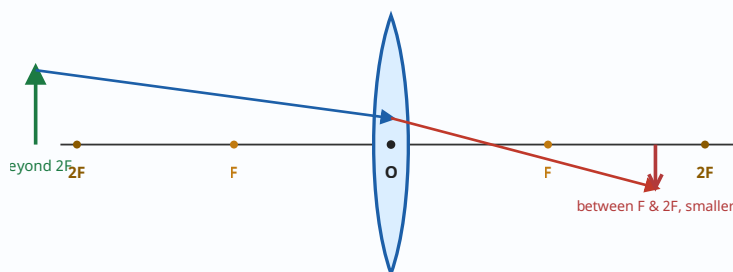
उत्तल लेंस के सामने वस्तु की स्थिति बदलने पर, अवतल दर्पण की भांति ही, बनने वाले प्रतिबिंब की स्थिति व प्रकृति में परिवर्तन होता है। ध्यान दें — लेंस में प्रतिबिंब सदैव **दूसरी ओर** (या आभासी होने पर उसी ओर) बनता है, जबकि दर्पण में प्रतिबिंब सामने की ओर बनता है।

स्थिति 1: वस्तु अनंत पर (Object at Infinity)



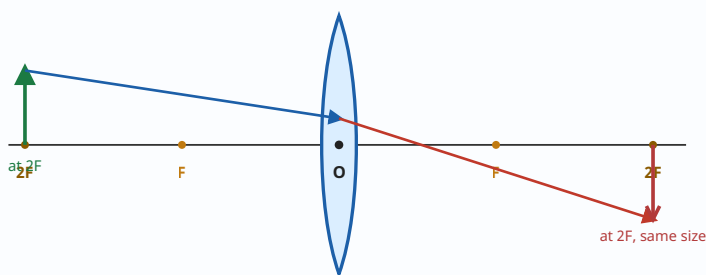
वस्तु अनंत पर $\rightarrow$ प्रतिबिंब F पर, बिंदु आकार, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 2: वस्तु $2F$ से परे (Object beyond $2F$)



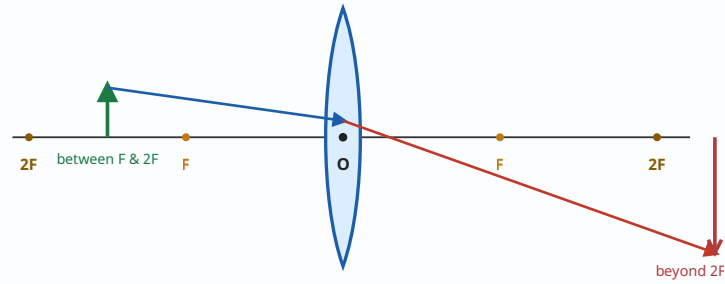
वस्तु $2F$ से परे $\rightarrow$ प्रतिबिंब दूसरी ओर F और $2F$ के बीच, छोटा, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 3: वस्तु $2F$ पर (Object at $2F$)



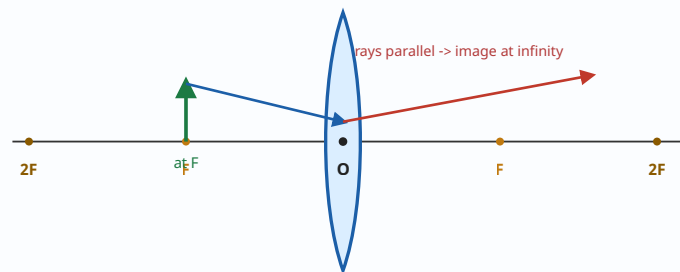
वस्तु $2F$ पर $\rightarrow$ प्रतिबिंब दूसरी ओर $2F$ पर, समान आकार, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 4: वस्तु F और $2F$ के बीच (Object between F and $2F$)



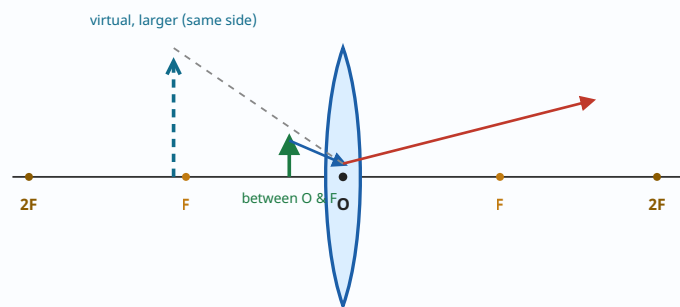
वस्तु F और $2F$ के बीच $\rightarrow$ प्रतिबिंब दूसरी ओर $2F$ से परे, बड़ा, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 5: वस्तु F पर (Object at F)



वस्तु F पर $\rightarrow$ प्रतिबिंब अनंत पर, अत्यधिक बड़ा, वास्तविक व उल्टा बनता है।

स्थिति 6: वस्तु O और F के बीच (Object between O and F)



वस्तु O और F के बीच $\rightarrow$ प्रतिबिंब उसी ओर, बड़ा, आभासी (Virtual) व सीधा (Erect) बनता है।

18.1 सारांश सारणी

वस्तु की स्थिति	प्रतिबिंब की स्थिति	आकार	प्रकृति
अनंत पर	F पर	अत्यंत छोटा (बिंदु)	वास्तविक, उल्टा
2F से परे	F और 2F के बीच	छोटा	वास्तविक, उल्टा
2F पर	दूसरी ओर 2F पर	समान	वास्तविक, उल्टा
F और 2F के बीच	2F से परे	बड़ा	वास्तविक, उल्टा
F पर	अनंत पर	अत्यंत बड़ा	वास्तविक, उल्टा
O और F के बीच	वस्तु की ओर ही	बड़ा	आभासी, सीधा

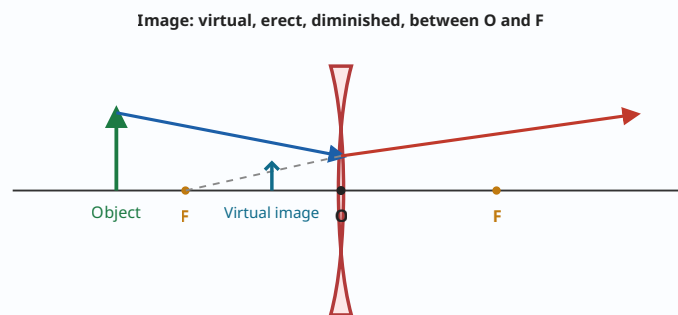
परीक्षा में याद रखें

- उत्तल लेंस से वास्तविक-उल्टा प्रतिबिंब तभी बनता है जब वस्तु F से बाहर रखी हो।
- उत्तल लेंस से आभासी-सीधा प्रतिबिंब तभी बनता है जब वस्तु O और F के बीच रखी हो — यही सिद्धांत आवर्धक लेंस (Magnifying Glass) में उपयोग होता है।

SECTION 19 — अवतल लेंस (Concave Lens)

19.1 अवतल लेंस के किरण नियम

1. मुख्य अक्ष के समांतर आने वाली किरण, अपवर्तन के बाद ऐसे फैलती है कि पीछे बढ़ाने पर वह पहली ओर के फोकस (F) से आती प्रतीत होती है।
2. प्रकाशिक केंद्र (O) से गुजरने वाली किरण बिना विचलन के सीधी निकल जाती है।



चित्र 19.1 — अवतल लेंस में प्रतिबिंब निर्माण

19.2 प्रतिबिंब की प्रकृति

अवतल लेंस के सामने वस्तु को **चाहे कहीं भी** रखा जाए, बनने वाला प्रतिबिंब सदैव:

- आभासी (Virtual)
- सीधा (Erect)
- वस्तु से छोटा (Diminished)
- वस्तु की ही ओर, O और F के बीच बनता है

19.3 अवतल लेंस के उपयोग

- निकट-दृष्टि दोष (Myopia) को ठीक करने वाले चश्मों में
- पेरेस्कोप तथा कुछ प्रकाशीय उपकरणों में
- लेज़र तकनीक व कैमरे के कुछ भागों में किरणों को फैलाने हेतु

परीक्षा में याद रखें

अवतल लेंस तथा उत्तल दर्पण — दोनों का प्रतिबिंब सदैव आभासी, सीधा तथा छोटा होता है। परंतु अवतल लेंस में प्रतिबिंब वस्तु की ही ओर (लेंस के पार) बनता है, जबकि उत्तल दर्पण में प्रतिबिंब दर्पण के पीछे बनता है।

SECTION 20 — लेंस सूत्र (Lens Formula)

लेंस सूत्र (Lens Formula)

$$1/f = 1/v - 1/u$$

u = वस्तु दूरी, v = प्रतिबिंब दूरी, f = फोकस दूरी — सभी प्रकाशिक केंद्र O से मापी जाती हैं।

20.1 चिह्न परिपाटी (Sign Convention)

- सभी दूरियाँ प्रकाशिक केंद्र (O) से मापी जाती हैं।
- वस्तु सदैव लेंस के बायीं ओर रखी जाती है, इसलिए u सदैव ऋणात्मक होता है।
- उत्तल लेंस की फोकस दूरी **धनात्मक (+)**; अवतल लेंस की फोकस दूरी **ऋणात्मक (-)** होती है।
- प्रतिबिंब यदि लेंस के दायीं ओर (वास्तविक) बने तो v धनात्मक; बायीं ओर (आभासी) बने तो v ऋणात्मक होता है।

उदाहरण 1

एक उत्तल लेंस की फोकस दूरी 10 cm है। 30 cm दूरी पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब कहाँ बनेगा?

दिया है: $f = +10$ cm, $u = -30$ cm

सूत्र: $1/f = 1/v - 1/u$

प्रतिस्थापन: $1/10 = 1/v - 1/(-30) = 1/v + 1/30$

$$1/v = 1/10 - 1/30 = (3-1)/30 = 2/30 = 1/15$$

उत्तर: $v = +15$ cm (लेंस के दूसरी ओर, वास्तविक प्रतिबिंब)

उदाहरण 2

एक अवतल लेंस की फोकस दूरी 20 cm है। 30 cm दूरी पर रखी वस्तु के प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें।

दिया है: $f = -20$ cm, $u = -30$ cm

सूत्र: $1/f = 1/v - 1/u$

प्रतिस्थापन: $1/(-20) = 1/v - 1/(-30) = 1/v + 1/30$

$$1/v = -1/20 - 1/30 = (-3-2)/60 = -5/60 = -1/12$$

उत्तर: $v = -12$ cm (वस्तु की ही ओर, आभासी प्रतिबिंब)

उदाहरण 3

किसी लेंस से 25 cm दूरी पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब उसी ओर 5 cm दूरी पर बनता है। लेंस की फोकस दूरी ज्ञात करें तथा लेंस का प्रकार बताएं।

दिया है: $u = -25 \text{ cm}$, $v = -5 \text{ cm}$

सूत्र: $1/f = 1/v - 1/u$

प्रतिस्थापन: $1/f = 1/(-5) - 1/(-25) = -1/5 + 1/25 = (-5+1)/25 = -4/25$

उत्तर: $f = -6.25 \text{ cm} \Rightarrow$ ऋणात्मक फोकस दूरी होने से यह अवतल लेंस है।

परीक्षा में याद रखें

दर्पण सूत्र में v व u के बीच जोड़ (+) होता है, परंतु लेंस सूत्र में घटाव (-) होता है — यह अंतर परीक्षा में बहुविकल्पीय व लघु प्रश्नों में विशेष रूप से पूछा जाता है।

SECTION 21 — लेंस की आवर्धन क्षमता (Magnification of Lens)

आवर्धन (Magnification)

$$m = h_i/h_o = v/u$$

लेंस के लिए $m = v/u$ होता है (दर्पण में $m = -v/u$ होता था — ध्यान दें, यहाँ ऋणात्मक चिह्न नहीं है)।

- m धनात्मक (+) $\Rightarrow$ प्रतिबिंब सीधा (erect) व आभासी (virtual)
- m ऋणात्मक (-) $\Rightarrow$ प्रतिबिंब उल्टा (inverted) व वास्तविक (real)

उदाहरण 1

उदाहरण 20.1 में $u = -30 \text{ cm}$, $v = +15 \text{ cm}$ था। आवर्धन ज्ञात करें।

सूत्र: $m = v/u$

प्रतिस्थापन: $m = 15/(-30) = -0.5$

निष्कर्ष: प्रतिबिंब उल्टा, वास्तविक तथा वस्तु से आधा आकार का है।

उदाहरण 2

एक उत्तल लेंस से 8 cm दूरी पर रखी वस्तु का आभासी प्रतिबिंब 24 cm दूरी पर बनता है। आवर्धन ज्ञात करें।

दिया है: $u = -8 \text{ cm}$, $v = -24 \text{ cm}$

सूत्र: $m = v/u$

प्रतिस्थापन: $m = (-24)/(-8) = +3$

निष्कर्ष: प्रतिबिंब सीधा, आभासी तथा वस्तु से 3 गुना बड़ा है।

SECTION 22 — लेंस की क्षमता (Power of Lens)

परिभाषा

किसी लेंस की **क्षमता (Power)** उसकी प्रकाश किरणों को मोड़ने (अभिसरित या अपसारित करने) की क्षमता का माप है। यह लेंस की फोकस दूरी के व्युत्क्रम (reciprocal) के बराबर होती है।

क्षमता का सूत्र

$$P = 1/f$$

⚠ महत्वपूर्ण: इस सूत्र में f का मान सदैव **मीटर (metre)** में लिया जाना चाहिए।

राशि	मात्रक	संकेत
क्षमता (Power)	डाइऑप्टर (Dioptre)	D
फोकस दूरी (Focal Length)	मीटर (metre)	m

क्षमता का चिह्न

- उत्तल लेंस (अभिसारी): f धनात्मक $\Rightarrow P$ धनात्मक (+)
- अवतल लेंस (अपसारी): f ऋणात्मक $\Rightarrow P$ ऋणात्मक (-)

1 डाइऑप्टर (1 D) उस लेंस की क्षमता है जिसकी फोकस दूरी 1 मीटर है। यदि किसी लेंस की क्षमता +2D है, तो इसका अर्थ है कि यह एक उत्तल लेंस है जिसकी फोकस दूरी 0.5 मीटर (50 cm) है।

उदाहरण 1

एक उत्तल लेंस की फोकस दूरी 25 cm है। इसकी क्षमता ज्ञात करें।

दिया है: $f = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$

सूत्र: $P = 1/f$

प्रतिस्थापन: $P = 1/0.25$

उत्तर: $P = +4 \text{ D}$

उदाहरण 2

एक अवतल लेंस की क्षमता -2.5 D है। इसकी फोकस दूरी ज्ञात करें।

दिया है: $P = -2.5 \text{ D}$

सूत्र: $f = 1/P$

प्रतिस्थापन: $f = 1/(-2.5) = -0.4 \text{ m}$

उत्तर: $f = -40 \text{ cm}$ (अवतल लेंस)

उदाहरण 3

एक डॉक्टर द्वारा किसी रोगी को +1.5 D क्षमता का चश्मा दिया गया। लेंस का प्रकार व फोकस दूरी ज्ञात करें।

दिया है: $P = +1.5 \text{ D}$ (धनात्मक $\Rightarrow$ उत्तल लेंस)

सूत्र: $f = 1/P$

प्रतिस्थापन: $f = 1/1.5 = 0.667 \text{ m}$

उत्तर: $f \approx 66.7 \text{ cm}$; यह उत्तल लेंस है (दूर-दृष्टि दोष को ठीक करने हेतु)

परीक्षा में याद रखें

- $P = 1/f$ में f हमेशा मीटर में होना चाहिए, cm में नहीं।
- धनात्मक क्षमता = उत्तल लेंस; ऋणात्मक क्षमता = अवतल लेंस।
- चश्मे के डॉक्टर द्वारा दी गई क्षमता का मात्रक सदैव डाइऑप्टर (D) होता है।

SECTION 23 — लेंसों के उपयोग (Uses of Lenses)

उपकरण	उपयोग
चश्मा (Spectacles)	निकट-दृष्टि दोष में अवतल लेंस, दूर-दृष्टि दोष में उत्तल लेंस का उपयोग होता है
कैमरा (Camera)	उत्तल लेंस द्वारा फिल्म/सेंसर पर वास्तविक व उल्टा प्रतिबिंब बनाया जाता है
सूक्ष्मदर्शी (Microscope)	दो या अधिक उत्तल लेंसों का उपयोग करके सूक्ष्म वस्तुओं को बड़ा करके देखा जाता है
दूरदर्शी (Telescope)	उत्तल लेंसों की सहायता से दूर स्थित वस्तुओं (जैसे तारे) को देखा जाता है
आवर्धक लेंस (Magnifying Glass)	उत्तल लेंस को वस्तु के फोकस के भीतर रखकर बड़ा, सीधा व आभासी प्रतिबिंब देखा जाता है
प्रोजेक्टर (Projector)	उत्तल लेंस द्वारा स्लाइड/फिल्म का बड़ा वास्तविक प्रतिबिंब पर्दे पर बनाया जाता है

इन सभी उपकरणों में लेंस के प्रकार व वस्तु की स्थिति का चुनाव, आवश्यक प्रतिबिंब की प्रकृति (वास्तविक/आभासी, बड़ा/छोटा) के आधार पर किया जाता है — यह Section 18 की सारांश सारणी से सीधे जुड़ा हुआ है।

SECTION 24 — सभी महत्वपूर्ण सूत्र (Complete Formula Sheet)

सूत्र	संकेतों का अर्थ	SI मात्रक
$R = 2f$	R = वक्रता अर्द्धव्यास, f = फोकस दूरी	मीटर (m)
$1/f = 1/v + 1/u$	दर्पण सूत्र — f = फोकस दूरी, v = प्रतिबिंब दूरी, u = वस्तु दूरी	मीटर (m) / सेमी
$m = h_i/h_o = -v/u$	दर्पण की आवर्धन क्षमता	मात्रकहीन
$n = \sin i / \sin r$	अपवर्तनांक (कोणों द्वारा)	मात्रकहीन
$n = c/v$	अपवर्तनांक (चाल द्वारा) — c = निर्वात में चाल, v = माध्यम में चाल	मात्रकहीन
$1/f = 1/v - 1/u$	लेंस सूत्र	मीटर (m) / सेमी
$m = h_i/h_o = v/u$	लेंस की आवर्धन क्षमता	मात्रकहीन
$P = 1/f$	लेंस की क्षमता — f अनिवार्यतः मीटर में	डाइऑप्टर (D)

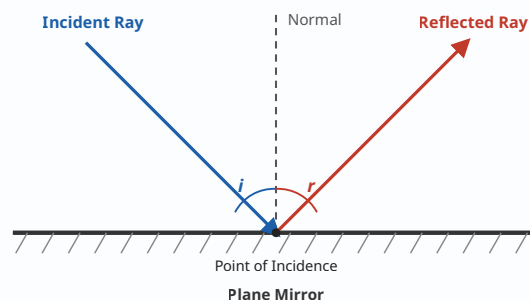
परीक्षा में याद रखें — तेज़ तुलना

- दर्पण सूत्र में **जोड़ (+)**, लेंस सूत्र में **घटाव (-)**।
- दर्पण आवर्धन में **ऋणात्मक चिह्न ($-v/u$)**, लेंस आवर्धन में **कोई ऋणात्मक चिह्न नहीं (v/u)**।
- $c > v$ सदैव, इसलिए अपवर्तनांक $n \geq 1$ सदैव।

SECTION 25 — महत्वपूर्ण किरण आरेख (Important Ray Diagrams — Quick Revision)

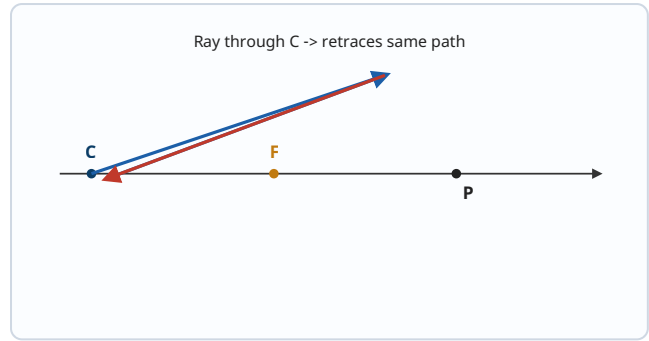
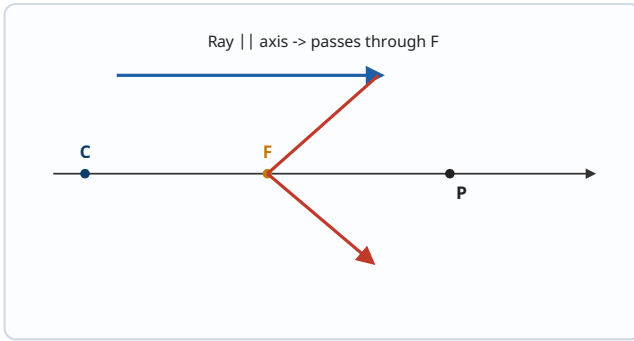
यह खंड परीक्षा से पहले त्वरित पुनरावलोकन (revision) के लिए सभी महत्वपूर्ण किरण आरेखों को संक्षिप्त रूप में प्रस्तुत करता है।

1. समतल दर्पण से परावर्तन

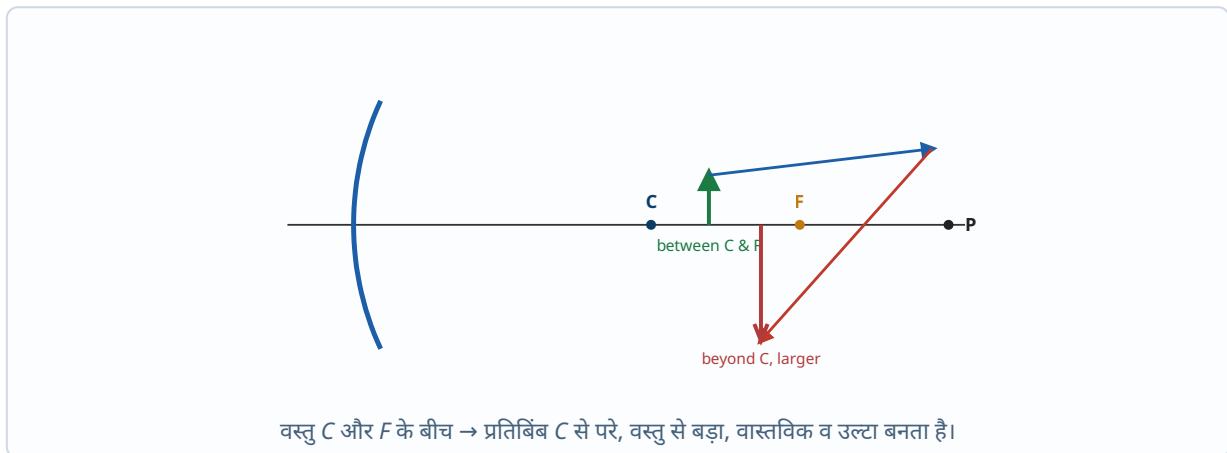


आपतन कोण = परावर्तन कोण ($\angle i = \angle r$)

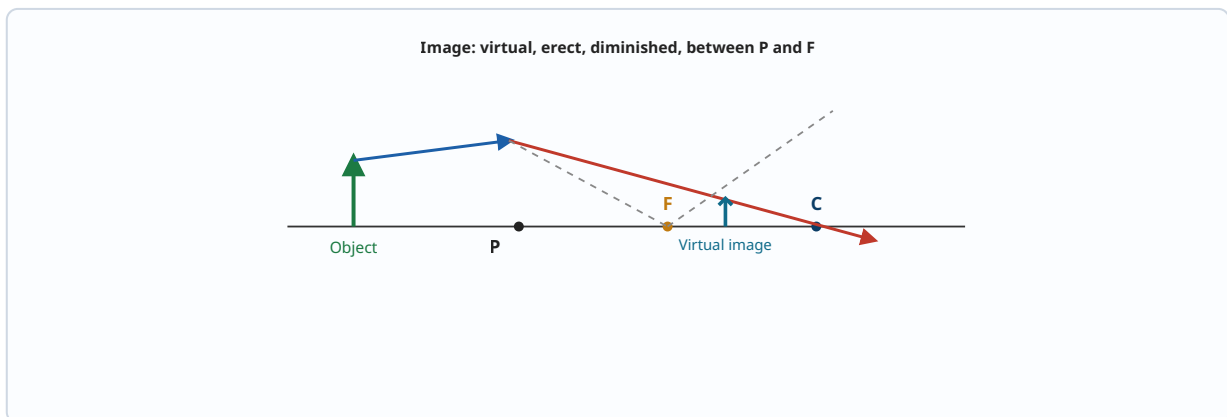
2. अवतल दर्पण की मूल किरणें



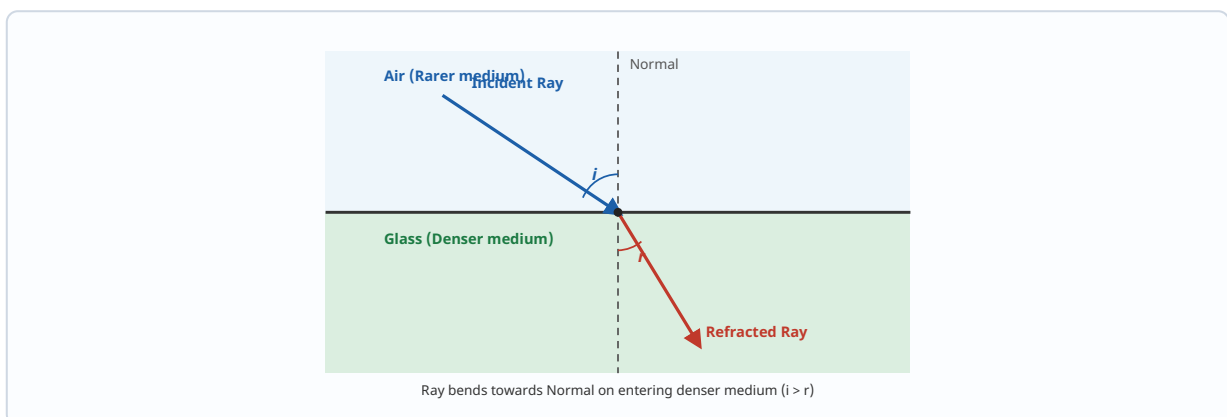
3. अवतल दर्पण में प्रतिबिंब निर्माण (प्रतिनिधि स्थिति — वस्तु C और F के बीच)



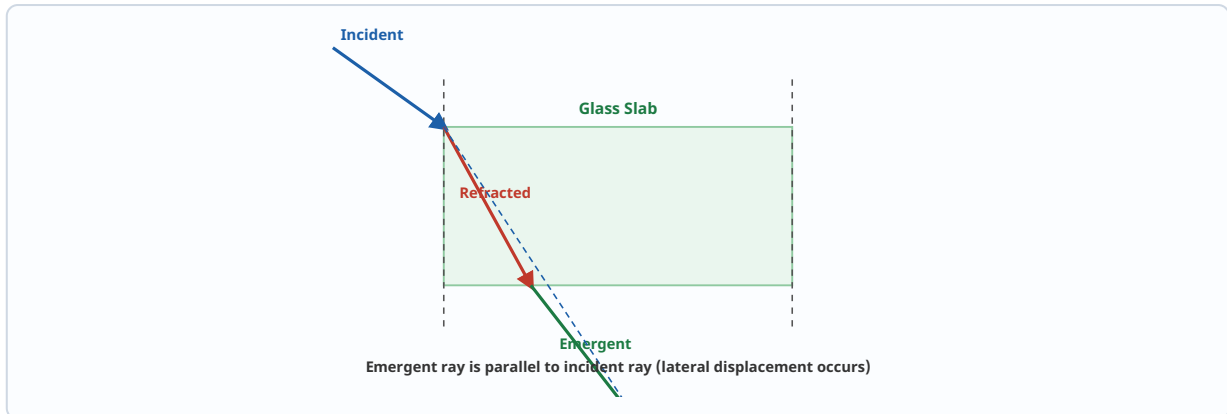
4. उत्तल दर्पण — सदैव आभासी प्रतिबिंब



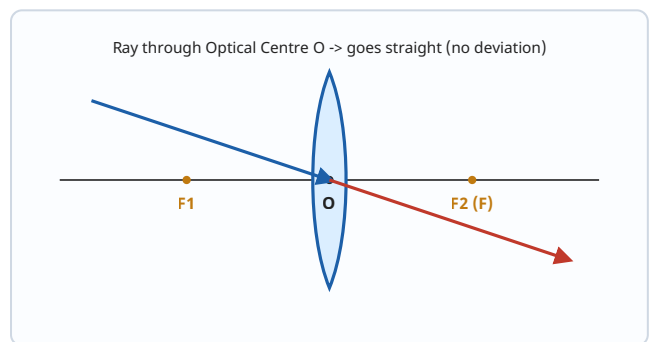
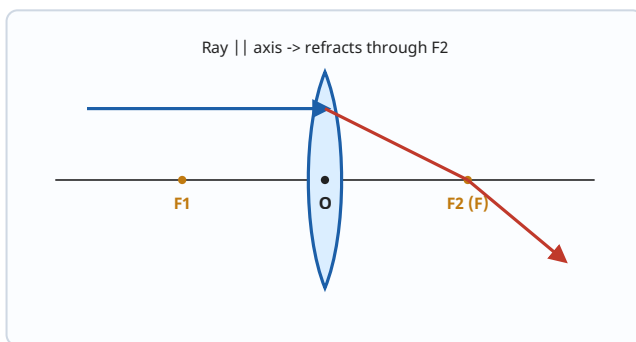
5. वायु से काँच में अपवर्तन



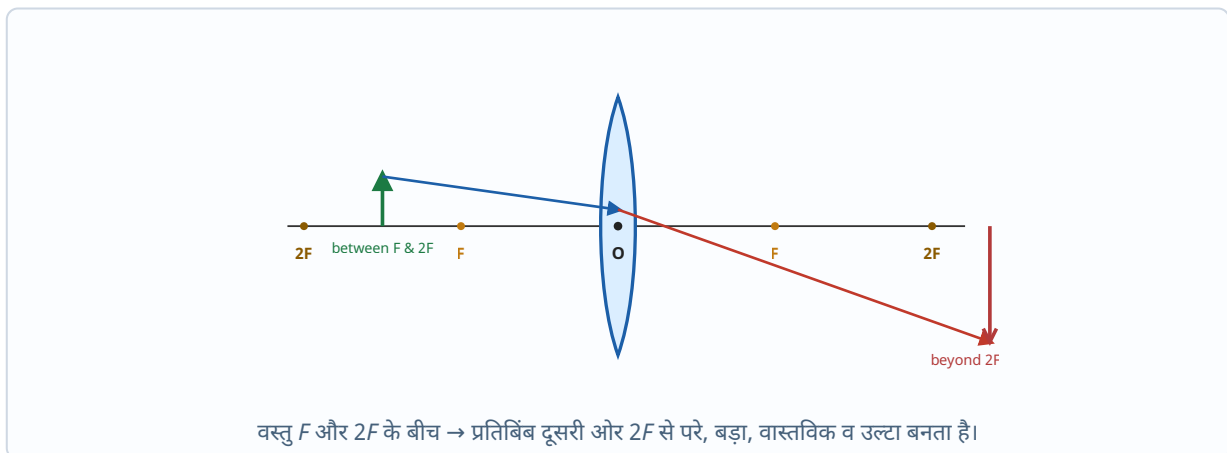
6. काँच की स्लैब — पार्श्व विस्थापन



7. उत्तल लेंस की मूल किरणें



8. उत्तल लेंस में प्रतिबिंब निर्माण (प्रतिनिधि स्थिति — वस्तु F और 2F के बीच)



9. अवतल लेंस — सदैव आभासी प्रतिबिंब

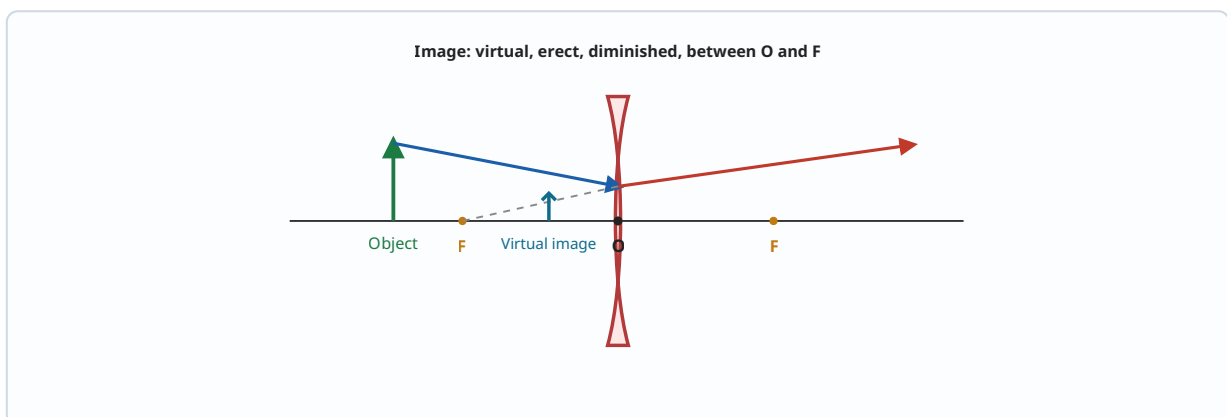


Diagram बनाते समय ध्यान रखें

- P, F, C, O तथा 2F के लेबल हमेशा मुख्य अक्ष पर सही क्रम में लिखें (अवतल दर्पण: P के बाद F, फिर C)।
- तीर के निशान (arrowheads) से किरण की दिशा स्पष्ट रूप से दिखाएँ।
- वस्तु व प्रतिबिंब को हमेशा तीर (arrow) से ही दिखाएँ, सीधी रेखा से नहीं।

SECTION 26 — तुलना सारणियाँ (Comparison Tables)

26.1 अवतल दर्पण बनाम उत्तल दर्पण

आधार	अवतल दर्पण	उत्तल दर्पण
परावर्तक पृष्ठ	भीतर की ओर वक्रित	बाहर की ओर उभरा हुआ
प्रकृति	अभिसारी (Converging)	अपसारी (Diverging)
फोकस दूरी का चिह्न	ऋणात्मक (-)	धनात्मक (+)
प्रतिबिंब की प्रकृति	वस्तु की स्थिति पर निर्भर (वास्तविक/आभासी)	सदैव आभासी, सीधा व छोटा
मुख्य उपयोग	शेविंग मिरर, टॉर्च, सोलर फर्नेस	रियर-व्यू मिरर, सुरक्षा दर्पण

26.2 उत्तल लेंस बनाम अवतल लेंस

आधार	उत्तल लेंस	अवतल लेंस
आकृति	मध्य मोटा, किनारे पतले	मध्य पतला, किनारे मोटे
प्रकृति	अभिसारी (Converging)	अपसारी (Diverging)
फोकस दूरी का चिह्न	धनात्मक (+)	ऋणात्मक (-)
क्षमता का चिह्न	धनात्मक (+)	ऋणात्मक (-)
प्रतिबिंब की प्रकृति	वस्तु की स्थिति पर निर्भर	सदैव आभासी, सीधा व छोटा
मुख्य उपयोग	कैमरा, सूक्ष्मदर्शी, दूरदर्शी	निकट-दृष्टि दोष के चश्मे

26.3 परावर्तन बनाम अपवर्तन

आधार	परावर्तन (Reflection)	अपवर्तन (Refraction)
परिभाषा	प्रकाश का उसी माध्यम में वापस लौटना	प्रकाश का एक माध्यम से दूसरे में जाते समय मुड़ना
माध्यम	एक ही माध्यम में होता है	दो भिन्न माध्यमों के बीच होता है
चाल में परिवर्तन	नहीं होता	होता है (माध्यम बदलने से)
नियम	$\angle i = \angle r$	$\sin i / \sin r = \text{स्थिरांक (n)}$
उदाहरण	दर्पण में प्रतिबिंब	पानी में डूबी छड़ी का मुड़ा दिखना

26.4 वास्तविक प्रतिबिंब बनाम आभासी प्रतिबिंब

आधार	वास्तविक प्रतिबिंब (Real Image)	आभासी प्रतिबिंब (Virtual Image)
निर्माण	किरणों के वास्तविक मिलन (intersection) से बनता है	किरणों को पीछे बढ़ाने पर मिलन-बिंदु से बनता है (काल्पनिक)
पर्दे पर प्राप्ति	पर्दे पर प्राप्त किया जा सकता है	पर्दे पर प्राप्त नहीं किया जा सकता
प्रकृति	सदैव उल्टा (Inverted)	सदैव सीधा (Erect)
चिह्न (v)	ऋणात्मक (दर्पण) / धनात्मक (लेंस)	धनात्मक (दर्पण) / ऋणात्मक (लेंस)
उदाहरण	सिनेमा पर्दे पर बना प्रतिबिंब	समतल दर्पण में अपना चेहरा

SECTION 27 — परीक्षा में पूछे जाने वाले महत्वपूर्ण प्रश्न

27.1 अति लघु उत्तरीय प्रश्न (Very Short Answer Questions)

1. प्रकाश का वेग निर्वात में कितना होता है?

उत्तर: 3×10^8 मी/से।

2. परावर्तन के प्रथम नियम को लिखें।

उत्तर: आपतन कोण = परावर्तन कोण ($\angle i = \angle r$)।

3. अवतल दर्पण की फोकस दूरी का चिह्न क्या होता है?

उत्तर: ऋणात्मक ($-$)।

4. R और f में क्या संबंध है?

उत्तर: $R = 2f$ ।

5. उत्तल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिंब सदैव किस प्रकार का होता है?

उत्तर: सदैव आभासी, सीधा तथा छोटा।

6. रियर-व्यू मिरर में किस प्रकार का दर्पण उपयोग होता है?

उत्तर: उत्तल दर्पण।

7. अपवर्तनांक का मात्रक क्या है?

उत्तर: यह मात्रकहीन राशि है।

8. स्नेल का नियम लिखें।

उत्तर: $\sin i / \sin r = \text{स्थिरांक (n)}$ ।

9. काँच की स्लेब से निर्गत किरण, आपतित किरण के सापेक्ष कैसी होती है?

उत्तर: समांतर होती है।

10. उत्तल लेंस को अभिसारी लेंस क्यों कहा जाता है?

उत्तर: क्योंकि यह प्रकाश किरणों को एक बिंदु पर अभिसरित (converge) करता है।

11. लेंस की क्षमता का मात्रक क्या है?

उत्तर: डाइऑप्टर (D)।

12. अवतल लेंस की क्षमता का चिह्न क्या होता है?

उत्तर: ऋणात्मक ($-$)।

13. लेंस सूत्र लिखें।

उत्तर: $1/f = 1/v - 1/u$ ।

14. प्रकाशिक केंद्र से गुजरने वाली किरण का क्या होता है?

उत्तर: वह बिना विचलन के सीधी निकल जाती है।

15. किस माध्यम में प्रकाश की चाल अधिकतम होती है?

उत्तर: निर्वात (vacuum) में।

27.2 लघु उत्तरीय प्रश्न (Short Answer Questions)

1. नियमित तथा विसरित परावर्तन में अंतर स्पष्ट करें।

उत्तर: नियमित परावर्तन में समांतर किरणें परावर्तन के बाद भी समांतर रहती हैं (चिकनी सतह से), जबकि विसरित परावर्तन में किरणें भिन्न-भिन्न दिशाओं में बिखर जाती हैं (खुरदरी सतह से)। दोनों में परावर्तन के नियम ($\angle i = \angle r$) प्रत्येक बिंदु पर लागू होते हैं।

2. अवतल दर्पण के कोई दो उपयोग लिखें।

उत्तर: (i) शेविंग मिरर के रूप में — चेहरे का बड़ा व सीधा प्रतिबिंब देखने हेतु। (ii) टॉर्च व हेडलाइट में — समांतर व शक्तिशाली प्रकाश पुंज बनाने हेतु।

3. उत्तल दर्पण को रियर-व्यू मिरर के रूप में क्यों उपयोग किया जाता है?

उत्तर: उत्तल दर्पण सदैव सीधा, छोटा प्रतिबिंब बनाता है तथा इसका दृष्टि क्षेत्र (field of view) समतल दर्पण से अधिक विस्तृत होता है, जिससे चालक को पीछे का अधिक क्षेत्र एक साथ दिखाई देता है।

4. प्रकाश अपवर्तन के समय क्यों मुड़ता है?

उत्तर: जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाता है, तो दोनों माध्यमों के प्रकाशिक घनत्व भिन्न होने के कारण प्रकाश की चाल बदल जाती है — इसी चाल परिवर्तन के कारण किरण अपनी दिशा बदल लेती है (मुड़ जाती है)।

5. काँच की स्लैब में पार्श्व विस्थापन (lateral displacement) क्या है? इसे कब अधिकतम माना जा सकता है?

उत्तर: आपतित किरण के मूल पथ तथा निर्गत किरण के पथ के बीच की लंबवत दूरी को पार्श्व विस्थापन कहते हैं। स्लैब की मोटाई बढ़ने या आपतन कोण बढ़ने पर पार्श्व विस्थापन भी बढ़ता है।

6. उत्तल तथा अवतल लेंस में तीन अंतर लिखें।

उत्तर: (i) उत्तल लेंस मध्य में मोटा होता है, अवतल लेंस मध्य में पतला होता है। (ii) उत्तल लेंस अभिसारी है, अवतल लेंस अपसारी है। (iii) उत्तल लेंस की फोकस दूरी धनात्मक, अवतल लेंस की ऋणात्मक होती है।

7. मुख्य फोकस की परिभाषा दर्पण तथा लेंस दोनों के लिए लिखें।

उत्तर: दर्पण में: मुख्य अक्ष के समांतर आने वाली किरणें परावर्तन के बाद जिस बिंदु पर मिलती हैं (या मिलती प्रतीत होती हैं), उसे मुख्य फोकस कहते हैं। लेंस में: मुख्य अक्ष के समांतर किरणें अपवर्तन के बाद जिस बिंदु पर मिलती हैं (या मिलती प्रतीत होती हैं), वह मुख्य फोकस है।

8. दर्पण सूत्र तथा लेंस सूत्र में क्या अंतर है?

उत्तर: दर्पण सूत्र में v और u का जोड़ होता है ($1/f = 1/v + 1/u$), जबकि लेंस सूत्र में इनका अंतर लिया जाता है ($1/f = 1/v - 1/u$)।

9. लेंस की क्षमता की SI इकाई डाइऑप्टर क्यों रखी गई? इसे परिभाषित करें।

उत्तर: 1 डाइऑप्टर वह क्षमता है जो 1 मीटर फोकस दूरी वाले लेंस की होती है ($P=1/f$)। यह इकाई फोकस दूरी के व्युत्क्रम पर आधारित होने के कारण प्रयुक्त की जाती है, ताकि लेंस की शक्ति को सरलता से मापा जा सके।

10. विरल तथा सघन माध्यम में प्रकाश की चाल की तुलना करें।

उत्तर: विरल माध्यम (जैसे वायु) में प्रकाश की चाल अधिक होती है, जबकि सघन माध्यम (जैसे काँच, जल) में प्रकाश की चाल कम होती है। इसी कारण विरल से सघन माध्यम में जाते समय किरण अभिलंब की ओर मुड़ती है।

11. स्वच्छ जल की सतह पर परावर्तन किस प्रकार का होता है? कारण बताएं।

उत्तर: नियमित परावर्तन होता है, क्योंकि शांत जल की सतह चिकनी होती है और समांतर किरणें परावर्तन के बाद भी समांतर रहती हैं, जिससे स्पष्ट प्रतिबिंब बनता है।

12. अवतल दर्पण में वास्तविक व आभासी प्रतिबिंब कब बनता है?

उत्तर: जब वस्तु F से बाहर (अनंत व F के बीच) रखी जाती है तो वास्तविक व उल्टा प्रतिबिंब बनता है। जब वस्तु F और P के बीच रखी जाती है तो आभासी व सीधा प्रतिबिंब बनता है।

13. लेंस में दो फोकस क्यों होते हैं जबकि दर्पण में केवल एक?

उत्तर: लेंस में प्रकाश दोनों ओर से आ सकता है, इसलिए इसके दोनों ओर एक-एक फोकस (F_1 , F_2) होता है। दर्पण में प्रकाश केवल एक ओर से (परावर्तक सतह की ओर से) आता है, इसलिए केवल एक फोकस (F) होता है।

14. पिनहोल कैमरा किस सिद्धांत पर कार्य करता है?

उत्तर: यह प्रकाश के सरल रेखीय संचरण (rectilinear propagation) के सिद्धांत पर कार्य करता है — प्रकाश सीधी रेखा में चलकर छोटे छिद्र से गुजरकर पर्दे पर उल्टा प्रतिबिंब बनाता है।

15. आवर्धक लेंस (Magnifying Glass) किस सिद्धांत पर कार्य करता है?

उत्तर: जब उत्तल लेंस के सामने वस्तु को उसकी फोकस दूरी के भीतर (O और F के बीच) रखा जाता है, तो बड़ा, सीधा तथा आभासी प्रतिबिंब बनता है — इसी सिद्धांत पर आवर्धक लेंस कार्य करता है।

27.3 दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (Long Answer Questions)

1. अवतल दर्पण में प्रतिबिंब निर्माण की सभी छह स्थितियों को उदाहरण व किरण आरेख सहित समझाएं।

संकेत: Section 6 की सारांश सारणी व सभी छह किरण आरेखों का उपयोग करें।

2. उत्तल लेंस में प्रतिबिंब निर्माण की सभी छह स्थितियों को किरण आरेख सहित वर्णन करें।

संकेत: Section 18 की सारणी व आरेखों का उपयोग करें।

3. परावर्तन के दोनों नियमों को समझाते हुए एक उपयुक्त किरण आरेख बनाएं। साथ ही नियमित व विसरित परावर्तन में अंतर बताएं।

संकेत: Section 2 व 3 का उपयोग करें।

4. दर्पण सूत्र ($1/f = 1/v + 1/u$) तथा कार्तीय चिह्न परिपाटी को उचित उदाहरण सहित विस्तार से समझाएं।

संकेत: Section 8 के सभी बिंदुओं व सारणी का उपयोग करें।

5. लेंस सूत्र, आवर्धन तथा क्षमता के सूत्रों को उदाहरण सहित समझाएं।

संकेत: Section 20, 21, 22 को मिलाकर उत्तर लिखें।

6. अवतल तथा उत्तल दर्पण के किरण नियमों को चारों नियमों के आरेख सहित समझाएं।

संकेत: Section 5 के चार नियम व आरेख उपयोग करें।

7. काँच की आयताकार स्लेब में अपवर्तन की प्रक्रिया को समझाते हुए सिद्ध करें कि निर्गत किरण आपतित किरण के समांतर होती है।

संकेत: Section 14 के चित्र व स्पष्टीकरण का उपयोग करें।

8. अपवर्तनांक की परिभाषा दोनों सूत्रों ($n = \sin i / \sin r$ तथा $n = c/v$) सहित समझाएं तथा तीन संख्यात्मक उदाहरण हल करें।

संकेत: Section 13 का उपयोग करें।

9. दर्पणों तथा लेंसों के सभी महत्वपूर्ण उपयोगों को वर्गीकृत करते हुए वर्णन करें।

संकेत: Section 10 व 23 का उपयोग करें।

10. उत्तल तथा अवतल लेंस के किरण नियमों तथा उनकी प्रतिबिंब निर्माण प्रक्रिया की तुलना करते हुए विस्तार से समझाएं।

संकेत: Section 17, 18, 19 का उपयोग करें।

27.4 संख्यात्मक प्रश्न (Numerical Questions)

1. एक अवतल दर्पण की फोकस दूरी 12 cm है। इसका वक्रता अर्द्धव्यास ज्ञात करें।

उत्तर: $R = 2f = 24 \text{ cm}$

2. अवतल दर्पण ($f = 10 \text{ cm}$) से 20 cm दूरी पर रखी वस्तु के प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें।

उत्तर: $v = -20 \text{ cm}$ (वस्तु C पर है, प्रतिबिंब भी C पर, समान आकार, वास्तविक व उल्टा)।

3. उत्तल दर्पण ($f = 15 \text{ cm}$) से 30 cm दूरी पर रखी वस्तु के प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें।

उत्तर: $1/15 = 1/v + 1/(-30) \Rightarrow v = +10 \text{ cm}$ (दर्पण के पीछे, आभासी)।

4. किसी माध्यम में प्रकाश की चाल 2×10^8 मी/से है। उसका अपवर्तनांक ज्ञात करें।

उत्तर: $n = c/v = 3 \times 10^8 / 2 \times 10^8 = 1.5$

5. आपतन कोण 60° तथा अपवर्तनांक 1.5 है। $\sin r$ ज्ञात करें ($\sin 60^\circ = 0.866$)।

उत्तर: $\sin r = \sin i/n = 0.866/1.5 = 0.577$

6. उत्तल लेंस ($f=20$ cm) से 40 cm दूरी पर रखी वस्तु के प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें।

उत्तर: $1/20 = 1/v - 1/(-40) \Rightarrow 1/v = 1/20 - 1/40 = 1/40 \Rightarrow v = +40$ cm (वस्तु 2F पर, प्रतिबिंब भी 2F पर, समान आकार)।

7. अवतल लेंस ($f=25$ cm) से 50 cm दूरी पर रखी वस्तु के प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें।

उत्तर: $1/(-25) = 1/v + 1/50 \Rightarrow 1/v = -1/25 - 1/50 = -3/50 \Rightarrow v = -16.7$ cm (आभासी)।

8. लेंस की फोकस दूरी 50 cm है। इसकी क्षमता ज्ञात करें।

उत्तर: $P = 1/f = 1/0.5 = +2D$

9. एक लेंस की क्षमता $-4D$ है। इसकी फोकस दूरी व प्रकार बताएं।

उत्तर: $f = 1/P = 1/(-4) = -0.25m = -25cm$; अवतल लेंस।

10. किसी लेंस से $u = -15cm$ पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब $v = +45cm$ पर बनता है। आवर्धन तथा f ज्ञात करें।

उत्तर: $m = v/u = 45/(-15) = -3$; $1/f = 1/45 - 1/(-15) = 1/45 + 1/15 = 4/45 \Rightarrow f = 11.25cm$

SECTION 28 — बहुविकल्पीय प्रश्न (MCQs)

1. अवतल दर्पण का मुख्य फोकस होता है—

- ☐ (A) वास्तविक ☐ (B) आभासी ☐ (C) दोनों ☐ (D) इनमें से कोई नहीं

2. उत्तल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिंब सदैव होता है—

- ☐ (A) वास्तविक व उल्टा ☐ (B) आभासी, सीधा व छोटा ☐ (C) वास्तविक व सीधा ☐ (D) आभासी व बड़ा

3. वक्रता अर्द्धव्यास (R) व फोकस दूरी (f) में संबंध है—

- ☐ (A) $R = f$ ☐ (B) $R = 2f$ ☐ (C) $R = f/2$ ☐ (D) $R = 4f$

4. परावर्तन के नियम में—

- ☐ (A) $\angle i > \angle r$ ☐ (B) $\angle i < \angle r$ ☐ (C) $\angle i = \angle r$ ☐ (D) कोई संबंध नहीं

5. रियर-व्यू मिरर में किस दर्पण का उपयोग होता है?

- ☐ (A) अवतल दर्पण ☐ (B) उत्तल दर्पण ☐ (C) समतल दर्पण ☐ (D) बेलनाकार दर्पण

6. नियमित परावर्तन किस सतह से होता है?

- ☐ (A) खुरदरी सतह ☐ (B) चिकनी सतह ☐ (C) रंगीन सतह ☐ (D) गर्म सतह

7. अवतल दर्पण की फोकस दूरी का चिह्न होता है—

- ☐ (A) धनात्मक ☐ (B) ऋणात्मक ☐ (C) शून्य ☐ (D) अनिश्चित

8. दर्पण सूत्र है—

- ☐ (A) $1/f = 1/v - 1/u$ ☐ (B) $1/f = 1/v + 1/u$ ☐ (C) $f = v + u$ ☐ (D) $f = v/u$

9. आवर्धन का सूत्र (दर्पण के लिए) है—

- ☐ (A) $m = v/u$ ☐ (B) $m = -v/u$ ☐ (C) $m = u/v$ ☐ (D) $m = f/u$

10. वस्तु C पर रखने से अवतल दर्पण में प्रतिबिंब बनता है—

- ☐ (A) F पर ☐ (B) C पर ☐ (C) अनंत पर ☐ (D) दर्पण के पीछे

11. वस्तु F पर रखने से अवतल दर्पण में प्रतिबिंब बनता है—

- ☐ (A) C पर ☐ (B) F पर ☐ (C) अनंत पर ☐ (D) P पर

12. स्नैल के नियम में स्थिरांक कहलाता है—

- ☐ (A) वक्रता अर्द्धव्यास ☐ (B) फोकस दूरी ☐ (C) अपवर्तनांक ☐ (D) आवर्धन

13. प्रकाश विरल से सघन माध्यम में जाने पर—

- ☐ (A) अभिलंब से दूर मुड़ता है ☐ (B) अभिलंब की ओर मुड़ता है ☐ (C) सीधा चलता है ☐ (D) रुक जाता है

14. अपवर्तनांक $n = c/v$ में c है—

- ☐ (A) माध्यम में चाल ☐ (B) निर्वात में चाल ☐ (C) ध्वनि की चाल ☐ (D) कोई अन्य राशि

15. काँच की स्लैब से निर्गत किरण आपतित किरण के—

- ☐ (A) लंबवत होती है ☐ (B) समांतर होती है ☐ (C) विपरीत होती है ☐ (D) कोई संबंध नहीं

16. उत्तल लेंस को कहा जाता है—

- ☐ (A) अपसारी लेंस ☐ (B) अभिसारी लेंस ☐ (C) समतल लेंस ☐ (D) बेलनाकार लेंस

17. अवतल लेंस की फोकस दूरी का चिह्न होता है—

- ☐ (A) धनात्मक ☐ (B) ऋणात्मक ☐ (C) शून्य ☐ (D) अपरिभाषित

18. लेंस सूत्र है—

- ☐ (A) $1/f = 1/v + 1/u$ ☐ (B) $1/f = 1/v - 1/u$ ☐ (C) $f = uv$ ☐ (D) $f = u/v$

19. लेंस के लिए आवर्धन का सूत्र है—

- ☐ (A) $m = -v/u$ ☐ (B) $m = v/u$ ☐ (C) $m = u/v$ ☐ (D) $m = f/v$

20. लेंस की क्षमता का मात्रक है—

- ☐ (A) वाट ☐ (B) डाइऑप्टर ☐ (C) न्यूटन ☐ (D) जूल

21. यदि $f = 0.5 \text{ m}$ हो, तो लेंस की क्षमता होगी—

- ☐ (A) 1D ☐ (B) 2D ☐ (C) 0.5D ☐ (D) 4D

22. उत्तल लेंस की क्षमता का चिह्न होता है—

- ☐ (A) धनात्मक ☐ (B) ऋणात्मक ☐ (C) शून्य ☐ (D) अनिश्चित

23. प्रकाशिक केंद्र से गुजरने वाली किरण—

- ☐ (A) मुड़ जाती है ☐ (B) बिना विचलन के सीधी निकल जाती है ☐ (C) परावर्तित हो जाती है ☐ (D) अवशोषित हो जाती है

24. वस्तु को उत्तल लेंस के O और F के बीच रखने पर प्रतिबिंब होता है—

- ☐ (A) वास्तविक व उल्टा ☐ (B) आभासी, सीधा व बड़ा ☐ (C) वास्तविक व छोटा ☐ (D) आभासी व छोटा

25. किसी लेंस में दो फोकस होने का कारण है—

- ☐ (A) प्रकाश दोनों ओर से आ सकता है ☐ (B) लेंस मोटा होता है ☐ (C) लेंस काँच का बना होता है ☐ (D) इनमें से कोई नहीं

26. हीरे का अपवर्तनांक काँच से अधिक होने का अर्थ है—

- ☐ (A) हीरा कम सघन है ☐ (B) हीरा अधिक सघन है ☐ (C) कोई अंतर नहीं ☐ (D) हीरा पारदर्शी नहीं है

27. टॉर्च में बल्ब को दर्पण के किस बिंदु पर रखा जाता है?

- ☐ (A) ध्रुव (P) ☐ (B) वक्रता केंद्र (C) ☐ (C) मुख्य फोकस (F) ☐ (D) अनंत पर

28. दंत चिकित्सक किस दर्पण का उपयोग करते हैं?

- ☐ (A) उत्तल दर्पण ☐ (B) अवतल दर्पण ☐ (C) समतल दर्पण ☐ (D) बेलनाकार दर्पण

29. अवतल लेंस का उपयोग किस दृष्टि दोष में होता है?

- ☐ (A) दूर-दृष्टि दोष ☐ (B) निकट-दृष्टि दोष ☐ (C) जरा-दृष्टि दोष ☐ (D) इनमें से कोई नहीं

30. प्रकाश का वेग सबसे अधिक किस माध्यम में होता है?

- ☐ (A) जल ☐ (B) काँच ☐ (C) वायु ☐ (D) निर्वात

Answer Key

1. A	7. B	13. B	19. B	25. A
2. B	8. B	14. B	20. B	26. B
3. B	9. B	15. B	21. B	27. C
4. C	10. B	16. B	22. A	28. B
5. B	11. C	17. B	23. B	29. B
6. B	12. C	18. B	24. B	30. D

SECTION 29 — संख्यात्मक अभ्यास (Numerical Practice)

नीचे 15 अभ्यास प्रश्न दिए गए हैं। पहले स्वयं हल करने का प्रयास करें, फिर पृष्ठ के अंत में दिए हल से मिलान करें।

प्रश्न (Questions)

- Q1.** अवतल दर्पण ($f = 18 \text{ cm}$) से 27 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें। (Mirror formula)
- Q2.** अवतल दर्पण ($f = 12 \text{ cm}$) से 8 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति व प्रकृति ज्ञात करें। (Mirror formula)
- Q3.** उत्तल दर्पण ($R = 30 \text{ cm}$) से 20 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब दूरी ज्ञात करें। (Mirror formula)
- Q4.** यदि $u = -25 \text{ cm}$ तथा $v = -50 \text{ cm}$ हो (अवतल दर्पण), तो आवर्धन ज्ञात करें। (Magnification)
- Q5.** किसी वस्तु की ऊँचाई 4 cm है तथा आवर्धन -2 है। प्रतिबिंब की ऊँचाई तथा प्रकृति बताएं। (Magnification)
- Q6.** किसी माध्यम का अपवर्तनांक 1.6 है। उस माध्यम में प्रकाश की चाल ज्ञात करें। (Refractive index)
- Q7.** यदि आपतन कोण 50° तथा अपवर्तन कोण 30° हो, तो अपवर्तनांक ज्ञात करें ($\sin 50^\circ = 0.766$, $\sin 30^\circ = 0.5$)। (Refractive index)
- Q8.** हीरे में प्रकाश की चाल $1.24 \times 10^8 \text{ मी/से}$ है। हीरे का अपवर्तनांक ज्ञात करें। (Refractive index)
- Q9.** उत्तल लेंस ($f = 15 \text{ cm}$) से 45 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें। (Lens formula)
- Q10.** अवतल लेंस ($f = 30 \text{ cm}$) से 60 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करें। (Lens formula)
- Q11.** उत्तल लेंस ($f = 10 \text{ cm}$) से 5 cm दूरी पर वस्तु रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति व प्रकृति ज्ञात करें। (Lens formula)
- Q12.** $u = -20 \text{ cm}$, $v = +60 \text{ cm}$ (लेंस) के लिए आवर्धन ज्ञात करें। (Lens magnification)
- Q13.** $u = -10 \text{ cm}$, $v = -5 \text{ cm}$ (लेंस) के लिए आवर्धन ज्ञात करें तथा बताएं प्रतिबिंब किस प्रकार का है। (Lens magnification)
- Q14.** किसी लेंस की फोकस दूरी 40 cm है। इसकी क्षमता ज्ञात करें। (Power of lens)
- Q15.** एक लेंस की क्षमता $+5D$ है। इसकी फोकस दूरी सेमी में ज्ञात करें तथा बताएं यह किस प्रकार का लेंस है। (Power of lens)

विस्तृत हल (Detailed Solutions)

हल — Q1

दिया है: $f = -18\text{cm}$, $u = -27\text{cm}$

$$1/f = 1/v + 1/u: 1/(-18) = 1/v + 1/(-27)$$

$$1/v = -1/18 + 1/27 = (-3+2)/54 = -1/54$$

उत्तर: $v = -54\text{ cm}$ (वास्तविक, उल्टा, बड़ा)

हल — Q2

दिया है: $f = -12\text{cm}$, $u = -8\text{cm}$ (वस्तु F के भीतर)

$$1/f = 1/v + 1/u: 1/(-12) = 1/v + 1/(-8)$$

$$1/v = -1/12 + 1/8 = (-2+3)/24 = 1/24$$

उत्तर: $v = +24\text{cm}$ (आभासी, सीधा, बड़ा — दर्पण के पीछे)

हल — Q3

दिया है: $R = 30\text{cm} \Rightarrow f = +15\text{cm}$ (उत्तल), $u = -20\text{cm}$

$$1/f = 1/v + 1/u: 1/15 = 1/v + 1/(-20)$$

$$1/v = 1/15 + 1/20 = (4+3)/60 = 7/60$$

उत्तर: $v \approx +8.57\text{cm}$ (आभासी, दर्पण के पीछे)

हल — Q4

$$\text{सूत्र: } m = -v/u$$

$$\text{प्रतिस्थापन: } m = -(-50)/(-25) = -2$$

उत्तर: $m = -2$ (उल्टा, वास्तविक, वस्तु से 2 गुना बड़ा)

हल — Q5

$$\text{सूत्र: } m = h_i/h_o$$

$$\text{प्रतिस्थापन: } -2 = h_i/4 \Rightarrow h_i = -8\text{cm}$$

उत्तर: प्रतिबिंब की ऊँचाई 8cm , ऋणात्मक चिह्न दर्शाता है प्रतिबिंब उल्टा है

हल — Q6

$$\text{सूत्र: } n = c/v \Rightarrow v = c/n$$

$$\text{प्रतिस्थापन: } v = 3 \times 10^8 / 1.6$$

$$\text{उत्तर: } v = 1.875 \times 10^8 \text{ मी/से}$$

हल — Q7

सूत्र: $n = \sin i / \sin r$

प्रतिस्थापन: $n = 0.766 / 0.5$

उत्तर: $n = 1.532$

हल — Q8

सूत्र: $n = c/v$

प्रतिस्थापन: $n = 3 \times 10^8 / 1.24 \times 10^8$

उत्तर: $n \approx 2.42$

हल — Q9

दिया है: $f = +15\text{cm}$, $u = -45\text{cm}$ (वस्तु $3f$ पर)

$1/f = 1/v - 1/u$: $1/15 = 1/v - 1/(-45) = 1/v + 1/45$

$1/v = 1/15 - 1/45 = (3-1)/45 = 2/45$

उत्तर: $v = +22.5\text{cm}$ (वास्तविक, उल्टा, छोटा)

हल — Q10

दिया है: $f = -30\text{cm}$, $u = -60\text{cm}$

$1/f = 1/v - 1/u$: $1/(-30) = 1/v + 1/60$

$1/v = -1/30 - 1/60 = (-2-1)/60 = -3/60 = -1/20$

उत्तर: $v = -20\text{cm}$ (आभासी, वस्तु की ओर ही)

हल — Q11

दिया है: $f = +10\text{cm}$, $u = -5\text{cm}$ (वस्तु F के भीतर)

$1/f = 1/v - 1/u$: $1/10 = 1/v + 1/5$

$1/v = 1/10 - 1/5 = -1/10$

उत्तर: $v = -10\text{cm}$ (आभासी, सीधा, बड़ा — वस्तु की ओर ही)

हल — Q12

सूत्र: $m = v/u$

प्रतिस्थापन: $m = 60/(-20) = -3$

उत्तर: $m = -3$ (उल्टा, वास्तविक, बड़ा)

हल — Q13

सूत्र: $m=v/u$

प्रतिस्थापन: $m=(-5)/(-10)=+0.5$

उत्तर: $m=+0.5$ (सीधा, आभासी, वस्तु से छोटा)

हल — Q14

दिया है: $f=40\text{cm}=0.4\text{m}$

सूत्र: $P=1/f$

उत्तर: $P=1/0.4=+2.5\text{D}$

हल — Q15

दिया है: $P=+5\text{D}$

सूत्र: $f=1/P$

प्रतिस्थापन: $f=1/5=0.2\text{m}=20\text{cm}$

उत्तर: $f=+20\text{cm}$; धनात्मक होने से यह उत्तल लेंस है

SECTION 30 — त्वरित पुनरावलोकन (1-Page Quick Revision Sheet)

परिभाषाएँ:

- परावर्तन: प्रकाश का उसी माध्यम में वापस लौटना।
- अपवर्तन: प्रकाश का माध्यम बदलने पर मुड़ना।
- अपवर्तनांक: $\sin i / \sin r$ या c/v का अनुपात।

परावर्तन के नियम:

1. $\angle i = \angle r$
2. आपतित किरण, परावर्तित किरण व अभिलंब एक तल में।

अपवर्तन के नियम:

1. तीनों (आपतित, अपवर्तित किरण, अभिलंब) एक तल में।
2. $\sin i / \sin r =$ स्थिरांक (स्नैल का नियम)।

अवतल दर्पण किरण नियम:

1. अक्ष-समांतर किरण $\rightarrow$ F से गुजरे
2. F से आने वाली किरण $\rightarrow$ समांतर निकले
3. C से आने वाली किरण $\rightarrow$ वापस लौटे
4. P पर किरण $\rightarrow \angle i = \angle r$ से परावर्तित

उत्तल लेंस किरण नियम:

1. अक्ष-समांतर किरण $\rightarrow$ F₂ से गुजरे
2. F₁ से आने वाली किरण $\rightarrow$ समांतर निकले
3. O से गुजरने वाली किरण $\rightarrow$ सीधी निकले

सूत्र (Formulas):

$$R = 2f$$

$$\text{दर्पण: } 1/f = 1/v + 1/u$$

$$\text{दर्पण आवर्धन: } m = h_i/h_o = -v/u$$

$$\text{लेंस: } 1/f = 1/v - 1/u$$

$$\text{लेंस आवर्धन: } m = h_i/h_o = v/u$$

$$\text{अपवर्तनांक: } n = \sin i / \sin r = c/v$$

$$\text{क्षमता: } P = 1/f \text{ (f मीटर में, मात्रक: डाइऑप्टर D)}$$

चिह्न परिपाटी (Sign Convention):

- u सदैव ऋणात्मक
- अवतल दर्पण: f, R ऋणात्मक
- उत्तल दर्पण: f, R धनात्मक
- उत्तल लेंस: f धनात्मक
- अवतल लेंस: f ऋणात्मक
- ऊँचाई ऊपर (+), नीचे (-)

प्रतिबिंब निर्माण के महत्वपूर्ण परिणाम:

- अवतल दर्पण/उत्तल लेंस: F से बाहर वस्तु $\rightarrow$ वास्तविक, उल्टा।
- अवतल दर्पण/उत्तल लेंस: F के भीतर वस्तु $\rightarrow$ आभासी, सीधा, बड़ा।
- उत्तल दर्पण/अवतल लेंस: सदैव आभासी, सीधा, छोटा।

मात्रक (Units):

- दूरी: मीटर (m) / सेंटीमीटर (cm)
- अपवर्तनांक: मात्रकहीन
- लेंस क्षमता: डाइऑप्टर (D)
- प्रकाश की चाल: मी/से (निर्वात में 3×10^8 मी/से)

परीक्षा टिप्स (Exam Tips):

- संख्यात्मक हल में सदैव चिह्न परिपाटी सबसे पहले लिखें।
- किरण आरेख में P, F, C, O, 2F के लेबल स्पष्ट रखें।
- दर्पण सूत्र में जोड़ (+), लेंस सूत्र में घटाव (-) — याद रखें।
- f का मान मीटर में बदलकर ही क्षमता (P) निकालें।